



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

### **TREBALL DE FINAL DE GRAU**

---

# **Anàlisi bibliogràfica de l'ús de lents de contacte amb filtre d'absorbància selectiva**

**Sara Gómez Artigas**

Director: Genís Cardona Torradeflot  
Codirectora: Elisabet Pérez Cabré  
Departament: Òptica i Optometria

**25 de gener de 2019**



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

El Sr. Genís Cardona Torradeflot, como a director del treball i la  
Sra. Elisabet Pérez Cabré como a codirectora del treball

### **CERTIFIQUEN**

Que la Sra. Sara Gómez Artigas ha realitzat sota la seva supervisió el treball “Anàlisi bibliogràfica de l’ús de lents de contacte amb filtre d’absorbència selectiva” que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signem aquest certificat.

Sr Genís Cardona Torradeflot  
Director del treball

Sra Elisabet Pérez Cabré  
Codirectora del treball

Terrassa, 11 de Gener de 2019



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

# **Anàlisi bibliogràfic de l'ús de lents de contacte amb filtre d'absorbància selectiva**

### **RESUM**

Atès que l'ús i la varietat de dispositius electrònics s'estenen cada cop més i sabent que les pantalles són perjudicials per la visió, hem volgut esbrinar si les lents de contacte amb filtre d'absorbància selectiva poden evitar els danys produïts per la radiació que emeten les pantalles.

Per això, en el present treball hem analitzat des d'un punt de vista bibliogràfic què és la llum blava, on es troba i com ens afecta, així com les diferents estratègies emprades per reduir-ne l'efecte nociu. També hem realitzat un estudi de laboratori per tal de comprovar quin percentatge de la llum blava que emeten els dispositius electrònics bloquegen exactament les lents que contenen aquests filtres.

El treball fet al laboratori amb un telèfon mòbil i les diferents lents de contacte amb tractament filtrant que existeixen actualment en el mercat ens ha permès corroborar els coneixements adquirits teòricament al llarg del treball. Mitjançant un espectoradiòmetre hem obtingut els valors de radiància emeses pel telèfon mòbil i els valors de radiància emesos a través de les lents de contacte. Després d'haver tractat les dades i analitzat els resultats, hem pogut determinar quina quantitat d'energia absorbeix cada lent i establir una comparació entre els tipus de lents d'un mateix fabricant i els de les diferents cases comercials.



## **GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA**

# **Análisis bibliográfico del uso de lentes de contacto con filtro de absorbancia selectiva**

### **RESUMEN**

Considerando que el uso y la variedad de dispositivos electrónicos se extienden cada vez más y sabiendo que las pantallas son perjudiciales para la visión, hemos querido averiguar si las lentes de contacto con filtro de absorbancia selectiva pueden evitar los daños producidos por la radiación que emiten las pantallas.

Para ello, en el presente trabajo hemos analizado desde un punto de vista bibliográfico qué es la luz azul, dónde se encuentra y cómo nos afecta, así como las distintas estrategias empleadas para reducir su efecto nocivo. También hemos realizado un estudio de laboratorio para comprobar qué porcentaje de la luz azul que emiten los dispositivos electrónicos bloquean exactamente las lentes que contienen dichos filtros.

El trabajo efectuado en el laboratorio con un teléfono móvil y las distintas lentes de contacto con tratamiento filtrante que existen actualmente en el mercado nos ha permitido corroborar los conocimientos adquiridos teóricamente a lo largo del trabajo. Mediante un espectroradiómetro hemos obtenido los valores de radiancia emitidos por el teléfono móvil y los valores de radiancia a través de las lentes de contacto. Después de haber tratado los datos y analizado los resultados, hemos podido determinar qué cantidad de energía absorbe cada lente y establecer una comparación entre los tipos de lentes de un mismo fabricante y los de las distintas marcas comerciales.



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

# **Bibliographic analysis of the use of contact lenses with a selective absorbance filter**

### **ABSTRACT**

Since the use and the variety of electronic devices are extending more and more, also knowing that the screens are harmful for the vision, we wanted to find out if the contact lenses with absorbance filter can avoid the damages produced by the radiation emitted by the screens.

Therefore, in the present study we had analyzed from a bibliographic point of view what is the blue light, where it be find and how it affects to us, and the different strategies to reduce the harmful effect. We have also done a laboratory study in order to confirm the percent of blue light - issued by the electronic devices- which block exactly the lenses with those filters.

The work done in the laboratory, with a mobile phone and the different contact lenses with the filter that currently are on the market, has allowed to confirm the knowledge we acquired theoretically during the study. We used a spectoradiometer to obtain the radiance values issued by the telephone mobile and the radiance values emitted through the contact lenses. After having ascertained the data and having analyzed the results, we had been able to determinate the energy that absorbs each lens and we established a comparison between the different types of contact lenses from a same manufacturer and between the different from commercial houses.

# Índex

Introducció .....	11
1. Què és la llum blava i on es troba? .....	13
1.1. Radiació i espectre electromagnètic .....	13
1.2. Espectre visible .....	15
1.2.1. Llum blava.....	15
1.3. Pantalles de dispositius electrònics .....	16
1.3.1. Pantalles Retro il·luminades .....	16
1.3.2. Funcionament d'una pantalla LCD.....	17
1.3.3. Tipus de fonts de llum ( <i>backlight</i> ) .....	19
1.3.4. Comparativa CCFL- LED.....	19
1.3.5. Desenvolupament del LED blau .....	21
2. Com ens afecta la llum blava? .....	23
2.1. La visió: .....	23
2.1.1. Procés de la visió .....	23
2.1.2. Radiació i estructures oculars.....	24
2.2. El blau i l'UV a nivell de retina.....	28
2.2.1. La retina .....	28
2.2.2. Mecanismes de protecció de la retina.....	32
2.3. Degeneració Macular Associada a l'Edat.....	33
2.3.1. Definició.....	33
2.3.2. Prevalença i factors de risc.....	33
2.3.3. Tipus de DMAE .....	34
.....	36
2.3.4. Diagnòstic i tractament .....	36
2.4. Estudis in vitro i de laboratori que relacionen els LEDs blaus amb la DMAE	37

2.5. Ritmes circadianis .....	38
3. Estratègies per reduir l'efecte de la llum blava .....	39
3.1. Normatives .....	39
3.2. Tipus de filtre .....	42
3.3. Filtres especials per a patologies .....	44
3.4. Filtres per a la llum blava .....	44
4. Estudi aplicat a les lents oftàlmiques .....	45
5. Lents de contacte .....	46
6. Estudi realitzat al laboratori.....	48
6.1. Objectius .....	48
6.2. Metodologia.....	48
6.2.1. Material:.....	48
6.2.4. Procediment de mesura.....	51
6.3. Resultats .....	52
6.3.1. Telèfon mòbil Huawei .....	52
6.3.2. Telèfon mòbil amb portaobjectes .....	53
6.3.3. Comparació entre lents de contacte d'una mateixa casa comercial 54	
6.3.4. Comparació entre lents de contacte amb filtre selectiu d'absorció de llum blava de diferents fabricants.....	56
6.4. Conclusions .....	58
Treballs citats .....	60
Altres fonts bibliogràfiques de consulta .....	61
Bibliografia figures .....	62
Annexos.....	66

## Índex de figures

<b>Figura 1.</b> Ona electromagnètica .....	14
<b>Figura 2.</b> Espectre electromagnètic.....	15
<b>Figura 3.</b> Relotge amb pantalla LCD de font reflectora i pantalla LCD amb backlight .....	16
<b>Figura 4.</b> Parts d'una pantalla LCD .....	17
<b>Figura 5.</b> Efecte nemàtic en el cristall líquid .....	18
<b>Figura 6.</b> Diagrama cromàtic CIE. Compara els triangles de colors dels diferents tipus de backlight que podem trobar al mercat.....	20
<b>Figura 7.</b> Espectre LED blanc. Combinació LEDs RGB.....	22
<b>Figura 8.</b> Espectre LED blanc. Combinació LED blau i fòsfors .....	22
<b>Figura 9.</b> Vies visuals.....	23
<b>Figura 10.</b> Imatge representativa de la reflexió, la refracció i l'absorció.....	24
<b>Figura 11.</b> Secció transversal d'un ull.....	26
<b>Figura 12.</b> Evolució del to en el cristal·lí al llarg dels anys.....	27
<b>Figura 13.</b> Capes de la retina perifèrica.....	29
<b>Figura 14.</b> Parts de les cèl·lules fotoreceptores.....	30
<b>Figura 15.</b> Disposició de les cèl·lules fotoreceptores a la retina .....	32
<b>Figura 16.</b> Fons d'un ull esquerre amb DMAE humida, s'observa una hemorràgia subretinal .....	35
<b>Figura 17.</b> Fons d'un ull esquerre amb DMAE seca, s'observen druses repartides per la retina.....	35
<b>Figura 18.</b> Percepció de la graella d'Amsler amb visió normal i percepció de la graella d'Amsler amb DMAE .....	36
<b>Figura 19.</b> Ubicació de la glàndula pineal al cervell .....	38
<b>Figura 20.</b> Dispersió cromàtica de la llum blanca a través d'un prisma i Triangle de colors (els colors primaris es troben al vèrtex i els complementaris als laterals) .....	39
<b>Figura 21.</b> Corbes de transmissió de filtres verds i grocs dels tons A, B, C i D .....	40
<b>Figura 22.</b> Corba de transmissió d'un filtre neutre .....	42
<b>Figura 23.</b> Corba transmissió d'un filtre polaritzador.....	43
<b>Figura 24.</b> Corba de transmissió d'un filtre de banda, només transmet en la zona verda de l'espectre visible.....	43
<b>Figura 26.</b> Lents de contacte prostètiques.....	47



<b>Figura 27.</b> Lents de contacte per a esportistes, MAXSIGHT de Bausch & Lomb .....	47
<b>Figura 25.</b> Lents de contacte cosmètiques .....	47
<b>Figura 28.</b> Espectroradiòmetre i muntatge al laboratori per a fer les mesures ...	49
<b>Figura 29.</b> Vista frontal i posterior dels blisters amb les lents de contacte de Servilens: Lens55 i Lens 55 CSR (amb filtre selectiu) .....	50
<b>Figura 30.</b> Vista frontal i posterior dels blisters amb les lents de contacte de Mark'ennovy: Saphir Rx Sph i Blu:ssential Sph (amb filtre selectiu) .....	50
<b>Figura 31.</b> Blu:ssential situada en mig de dos portaobjectes vista a través de l'espectroradiòmetre .....	51
<b>Figura 32.</b> Lens 55 CSR situada en mig de dos portaobjectes vista a través de l'espectroradiòmetre .....	51

## Índex de taules

<b>Taula 1.</b> Radiacions ionitzants classificades segons la CIE .....	25
<b>Taula 2.</b> Classificació UNE-EN 1836:2006 .....	42
<b>Taula 3.</b> Adaptacions realitzades a Espanya l'any 2017 segons el disseny de la lent de contacte. ....	46
<b>Taula 4.</b> Especificacions de cada una de les mostres de l'anàlisi .....	51
<b>Taula 5.</b> Percentatges d'absorbància en la zona dels blaus de cada mostra .....	57

## Índex de gràfics

<b>Gràfic 1.</b> Corba de radiància espectral del telèfon mòbil amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim .....	52
<b>Gràfic 2.</b> Comparació de la corba de radiància espectral dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil i la corba del telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim).....	53
<b>Gràfic 3.</b> Comparació de la corba de radiància espectral de les diferents lents de Servilens i la corba dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim). ....	54
<b>Gràfic 4.</b> Comparació de la corba de radiància espectral de les diferents lents de Mark'ennovy i la corba dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim). ....	55

**Gràfic 5.** Comparació de la corba de radiància espectral de les diferents amb filtre selectiu d'absorció de la llum blava i la corba dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim). .....56

## Introducció

En els últims trenta anys el avenços de la tecnologia han portat grans canvis a les nostres vides. Actualment ens trobem rodejats de dispositius electrònics amb pantalles de visualització de dades, tant a la feina com a casa, i fins i tot als carrers. L'arribada del LED (RGB) ha destronat les fonts de llum a que estàvem acostumats. La combinació de les emissions dels tres colors vermell, verd i blau permeten obtenir llum blanca. Els LEDs han resultat un avenç, doncs tenen un rendiment elevat, són capaços de reproduir una gamma de colors molt ampla i són de petites dimensions. Gràcies a aquestes característiques s'ha aconseguit desenvolupar pantalles més primes, les anomenades pantalles LCD.

Però no tot són avantatges: estudis recents han confirmat que l'espectre de radiació que emeten aquestes fonts de llum és perjudicial per a la salut, doncs trobem un pic d'emissió en la regió de la llum blava del visible. Aquest tipus de llum al ésser de longitud d'ona curta té associada una energia molt elevada que interactua amb la matèria, de manera que per una banda altera algunes estructures de la retina, i per altra banda, aquest pic coincideix amb el màxim d'absorció de la melanopsina, un fotopigment que quan és estimulat provoca que es deixi de segregar l'hormona melatonina o hormona de la son, alterant així els ritmes circadianis. Actualment, es tracta d'una temàtica en plena investigació doncs l'alteració de la retina i l'aparició de patologies com la DMAE (Degeneració Macular Associada a l'Edat), o els problemes d'insomni per l'alteració dels ritmes circadianis comencen a ser problemes del dia a dia.

Per tal de pal·liar aquests inconvenients, els principals fabricants de dispositius electrònics han tret en els seus softwares, l'opció de reduir l'emissió de la llum blava. Una altra manera de reduir l'impacte de la llum blava és mitjançant l'aplicació de filtres a les lents oftàlmiques i a les lents de contacte. El nivell de protecció que ofereixen aquests filtres ha estat objecte d'un treball de final de grau publicat el 2016. Fins ara, però, no s'ha fet cap estudi sobre l'eficàcia dels filtres de llum blava en lents de contacte, que és el que hem volgut verificar en aquest treball. El primer que hem fet ha estat una recerca bibliogràfica, i per tal de veure si la realitat es correspon amb la teoria, posteriorment hem realitzat un estudi al laboratori per analitzar les lents de contacte que contenen un filtre

d'absorbància selectiu per tal de bloquejar la llum violeta-blava que es troben al mercat.

Mitjançant una font d'il·luminació (un telèfon mòbil Huawei P8 Lite), les lents de contacte i un espectroradiòmetre (*Photo Research* PR-715) hem obtingut els valors de radiància del mòbil i els valors de la radiància emesa pel dispositiu que passa a través de les lents de contacte. Ens hem centrat en els valors obtinguts en el pic d'emissió de la zona de la llum blava. Totes les mesures han estat realitzades en una mateixa sessió, amb els llums apagats, i amb una imatge blanca uniforme a la pantalla del telèfon - amb aquest endollat a la corrent - per tal que els valors sortissin constants i amb les mateixes condicions experimentals. Aquestes mesures ens han permès establir una doble comparació entre les lents que constitueix el resultat de la nostra recerca. La primera és una comparació entre les lents equivalents que figuren al catàleg de cada fabricant - Servilens i Mark'ennovy – és a dir, una amb filtre i l'altre sense. I l'altre és una comparació entre les lents amb filtre d'absorbància selectiva dels diferents fabricants.

# 1. Què és la llum blava i on es troba?

## 1.1. Radiació i espectre electromagnètic

El Diccionari de la llengua catalana DIEC defineix radiació com:

**1 1 f.** [FIF] Acció de radiar; l'efecte.

**1 2 f.** [FIF] Raig o rajos de llum, de calor, etc., radiats.

**2 1 f.** [FIF] [ME] [EL] Emissió i transferència d'energia en forma d'ones electromagnètiques o partícules.

La radiació normalment es classifica segons l'afectació biològica: radiació ionitzant o radiació no ionitzant. Considerem radiació ionitzant aquella que en interaccionar amb la matèria origina partícules amb carrega elèctrica (ions), ja sigui de manera directa o indirecta, com és el cas de les radiacions  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , els raigs X i els neutrons. La radiació no ionitzant, és definida com aquella radiació que en interaccionar amb la matèria no trenca enllaços; els seus efectes poden ser tèrmics o no tèrmics.

La llum es comporta com una ona electromagnètica i com una partícula d'energia alhora, aquest fet és conegut com a dualitat ona partícula. Per a estudiar-la cal tenir en compte tant el model corpuscular com el model ondulatori.

La proposta de Louis de Broglie (Marín, Pfeiffer, & Travesset, 2009), que va ser el primer en introduir aquesta idea, era que les partícules materials també podien comportar-se com a ones. Segons la deducció de de Broglie (a partir de la fórmula de l'energia quàntica d'un fotó i la quantitat de moviment d'una partícula) existeix una relació entre les característiques d'una partícula (energia  $E$  i quantitat de moviment  $p$ ) i les d'una ona (freqüència  $f$  i longitud d'ona  $\lambda$ ), i aquesta fórmula pot ser aplicada a qualsevol partícula de massa ( $m$ ) que es desplaci a una velocitat ( $v$ ).

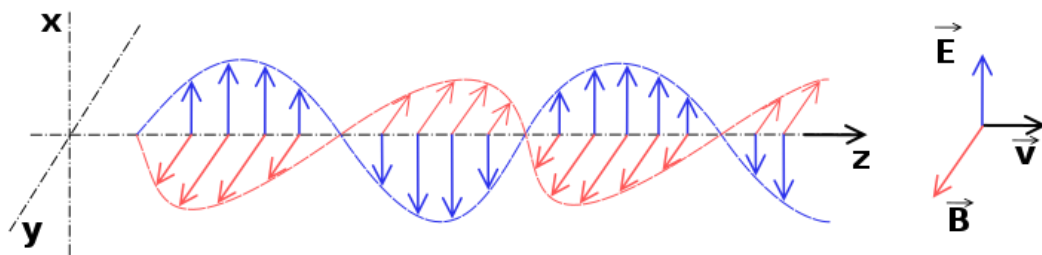
$$\begin{cases} E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \\ E = c \cdot p \end{cases} \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

$$\begin{cases} \lambda = \frac{h}{p} \\ p = m \cdot v \end{cases} \quad \lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad ^1$$

Gràcies a la tesi doctoral on exposava aquesta teoria, va rebre el premi Nobel de Física l'any 1929.

Segons el model quàntic o corpuscular, la llum es comporta com si estigués composta per petites partícules: quàntums de radiació (posteriorment coneguts com a fotons). L'energia de cada fotó depèn únicament de la seva freqüència.

Segons el model ondulatori, la llum és una forma d'energia radiant que no necessita cap medi per a propagar-se. Està formada per ones electromagnètiques, és a dir, ones formades per l'oscil·lació d'un camp elèctric i un camp magnètic perpendiculars a la direcció de propagació, i perpendiculars entre ells (**figura 1**).



**Figura 1.** Ona electromagnètica

Les ones es propaguen a la mateixa velocitat al buit ( $c=3 \cdot 10^8$  m/s) i es poden classificar per la freqüència ( $f$ , en unitats de Hz) o la longitud d'ona ( $\lambda$ , en unitats de nm) entre les que estan compreses. El conjunt d'aquestes ones s'anomena espectre electromagnètic i cada una d'elles rep un nom diferent: ones de ràdio, microones, infrarojos, llum visible, raigs ultraviolats, raigs X, i finalment, raigs  $\gamma$  i raigs còsmics.

<sup>1</sup>Hipòtesi de Broglie: Constant de Plank  $h=6.63 \cdot 10^{-34}$  Js

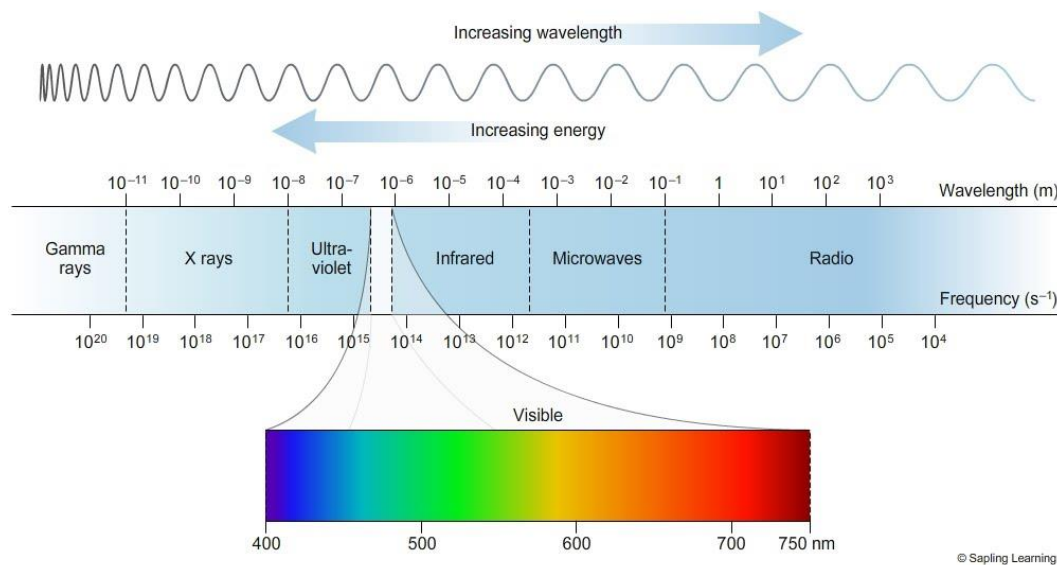
## 1.2. Espectre visible

El que nosaltres considerem com a llum, és la única part de l'energia radiant que és capaç d'estimular l'ull. El éssers humans només som capaços de detectar una petita part, l'espectre visible, situada entre les longituds d'ona de 380nm i 780nm. A menor longitud d'ona ( $\lambda$ ), major freqüència ( $f$ ) i per tant més energia radiant ( $E$ ) associada.

$$v = \lambda \cdot f$$

$$E = h \cdot f$$

Cada color que nosaltres percebem està associat a una freqüència diferent, però és més comú relacionar les diferents ones electromagnètiques amb les longituds d'ona (**figura 2**). Les  $\lambda$  curtes són percebudes de color violeta i les més llargues de color vermell, i entremig trobem els colors blau, verd, groc i taronja.



**Figura 2.** Espectre electromagnètic

### 1.2.1. Llum blava

La llum blava és la que es troba entre les longituds d'ona de 380nm i 482nm. Degut a la seva longitud curta, té molta energia. Existeixen emissions provinents d'una font natural, com el Sol, o de fonts artificials com ara els LEDs.

Estudis recents mostren que pot ser perjudicial ja que produeix efectes adversos sobre l'organisme humà (alterant els ritmes circadianis o produint lesions a algunes parts de l'ull). (Hye Oh, Yoo, Keun Park, & Rag Do, 2015)

### 1.3. Pantalles de dispositius electrònics

#### 1.3.1. Pantalles Retro il·luminades

Actualment, els dispositius electrònics ja formen part del nostre dia a dia. Ja sigui en forma de pantalles, telèfons mòbils, tauletes, etc. La majoria d'aquests dispositius amb pantalles de visualització de dades, estan formats per una pantalla de cristall líquid (LCD), ja que aquesta és més prima i lleugera que les convencionals.

Les pantalles estan formades per píxels, col·locats davant d'una font de llum, denominada en anglès *backlight*, o d'una font reflectora. Això és degut a que les molècules de cristall líquid no són capaces d'emetre llum directament per si soles.

En les pantalles més senzilles destinades a ser utilitzades en zones de molta il·luminació, com per exemple les que podem trobar en alguns rellotges, calculadores o aparells mp3, es fa servir un fons reflector i aleshores no és necessària una font elèctrica mentre que en les pantalles en què és necessari un bon contrast i una bona definició de la imatge, s'utilitza una font de llum blanca per a il·luminar des de darrera, com és el cas en pantalles d'ordinadors i portàtils, tauletes o bé televisions. **(Figura 3)**



**Figura 3.** Rellotge amb pantalla LCD de font reflectora i pantalla LCD amb *backlight*



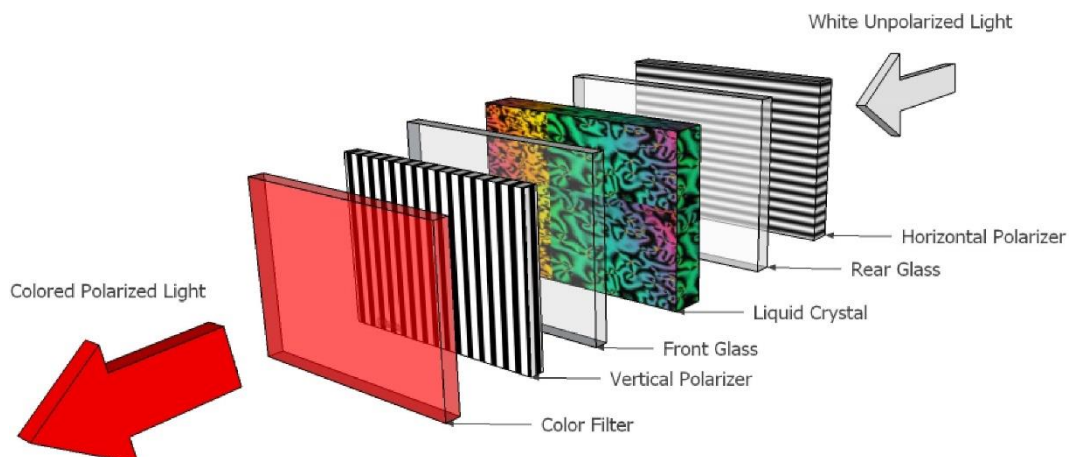
Els telèfons mòbils, actualment fan servir una barreja dels dos funcionaments, és a dir, utilitzen un mirall darrera del polaritzador i una font de llum (que està situada al voltant de la capa de cristall líquid) per tal d'aprofitar tant la llum ambiental com la que prové del *backlight*.

### 1.3.2. Funcionament d'una pantalla LCD

Totes les imatges que es perceben a les pantalles estan formades per la unió de diferents píxels. Cada píxel representa una part específica de la imatge i per que cada un emeti o deixi d'emetre llum cal que es dugui a terme un procés.

Podríem considerar que les pantalles LCD estan dividides en diferents capes: **(figura 4)**

1. Una font de llum blanca
2. Filtre polaritzador horitzontal.
3. Cristall líquid
4. Filtre polaritzador vertical
5. Filtre de color (vermell, verd o blau)



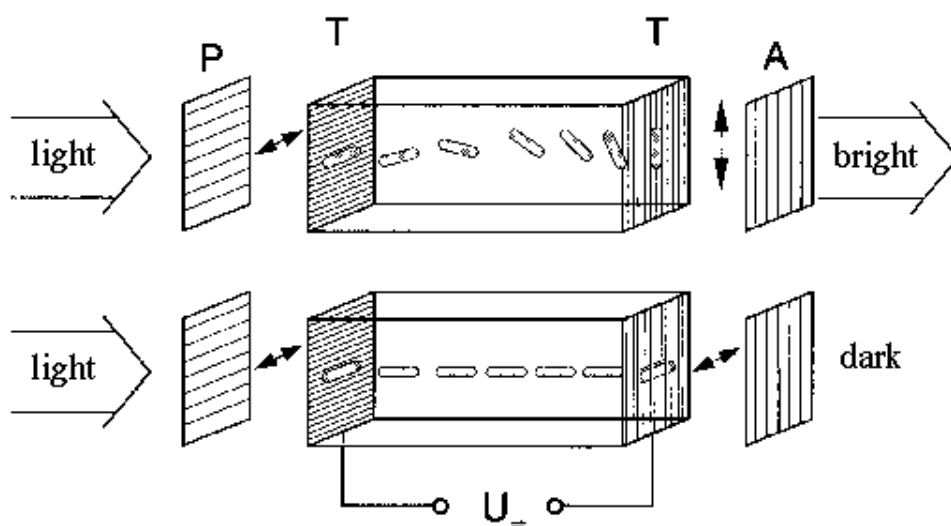
**Figura 4.** Parts d'una pantalla LCD

Les molècules del cristall líquid tenen propietats, tal i com indica el seu nom, de sòlid i líquid. Són molècules orientables que si se'ls aplica un camp elèctric els provoca un canvi en la estructura, que els permet moure's en diferents posicions. Són capaces de transmetre la llum i de canviar la polarització d'aquesta.

L'any 1970 es va descobrir l'efecte nemàtic en el cristall líquid, descobriment atribuït a James Fergason (Arora, Fergason, & Saupe, 1970). El funcionament de les cel·les TN (*Twisted Nematic*), que trobem a les pantalles LCD es basa en un voltatge de control baix, que controla amb precisió la reestructuració de les molècules del cristall líquid sota l'efecte d'un camp elèctric.

Si no s'aplica un camp elèctric, la llum polaritzada horitzontal va rotant al seu pla de polarització de manera helicoidal fins a la posició vertical, provocant així que passi tota la llum. En canvi, quan s'aplica un camp elèctric, les molècules de cristall líquid s'orienten paral·leles entre si, i al no variar el pla de polarització de la llum, el segon filtre polaritzador bloqueja completament el pas de la llum (**figura 5**). Com més elevat sigui el voltatge aplicat més perpendicular serà la disposició de les molècules i, per tant es transmetrà menys quantitat de llum.

En el cas de pantalles de color, el funcionament és idèntic al de les pantalles monocromàtiques, únicament es diferencien en que cada píxel està format per tres subpíxels: cel·les RGB (*Red Green and Blue*). Mitjançant la barreja dels tres colors primaris s'aconsegueix emetre qualsevol color, alguns amb més dificultat de reproducció que altres.



**Figura 5.** Efecte nemàtic en el cristall líquid

### 1.3.3. Tipus de fonts de llum (*backlight*)

Existeixen moltes fonts de llum diferents, i amb els anys s'han anat desenvolupant noves tecnologies. La majoria de les pantalles utilitzen el mètode del *backlight*.

Al principi les pantalles LCD feien servir com a font un fluorescent anomenat CCFL, acrònim en anglès de *Cold Cathode Fluorescent Lamps*. Aquest mètode es basa en la disposició del tub fluorescent darrera de la pantalla LCD (il·luminació directa) o bé als laterals (il·luminació de vores).

Amb la aparició al mercat dels LEDs, la fins aleshores utilitzada tecnologia dels CCFL queda quasi obsoleta, ja que els LEDs tenen una mida més petita, una eficàcia luminescent més alta, un temps d'encès molt més curt i una vida útil més llarga. A més a més, barrejant els LEDs multicolors, es pot aconseguir una gran variació cromàtica. (Yu-Kang Lo, 2009).

Un LED, acrònim en anglès de *Light-Emitting Diode*, és un díode emissor de llum. Són dispositius semiconductors que emeten llum quasi monocromàtica (tenen un espectre amb pics rellevants però molt estrets).

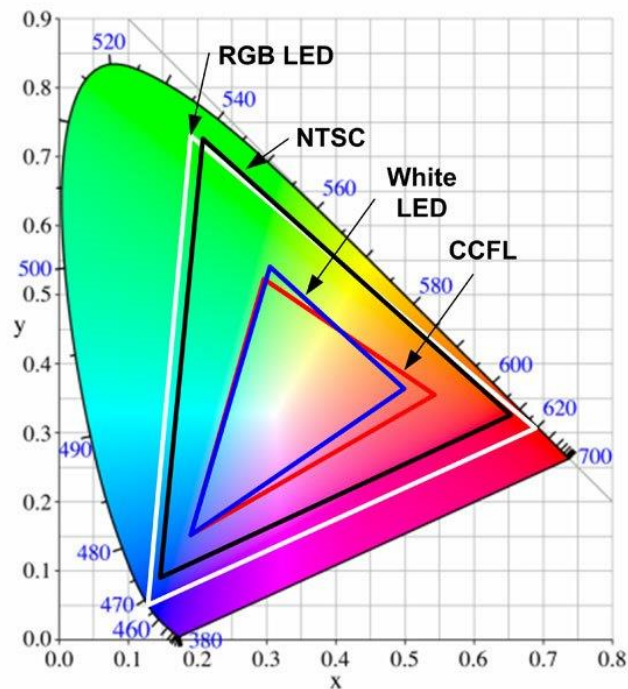
El color que emeten, ja sigui radiació UV, visible o fins i tot IR, depèn del material semiconductor amb el que s'ha construït. Per aconseguir longituds d'ones curtes, que equivalen als blaus i verds (470-525nm) es fa servir el Nitrur d'Indi Gal·li (InGaN) i per aconseguir longituds d'ona llargues, corresponents al vermell, groc o ambre (590-630nm) es fa servir Fòsfor d'Alumini Indi Gal·li (AlInGaP).

### 1.3.4. Comparativa CCFL- LED

Tal i com hem comentat abans, els LEDs suposen una font de retro il·luminació millorada però això no es compleix en tots els aspectes. Si és cert que té molts avantatges com:

- Al ser dispositius d'una mida més petita que els tubs fluorescents permet tenir pantalles més primes. També permet tenir més quantitat de LEDs dels tres colors i per tant, tenir una millor resolució de la imatge.

- Es pot modular la intensitat de cada un dels LEDs, permetent així una millor definició i contrast .
- Al poder modular la intensitat de llum que emet cada LED, la gamma de colors de les pantalles LED supera el triangle de colors NTSC<sup>2</sup> (*National Television System Committee*). Utilitzant 6 colors primaris (dos blaus, dos verds i dos vermells) és pot augmentar fins a un 145% NTSC en la escala de representació. **(Figura 6)**



**Figura 6.** Diagrama cromàtic CIE. Compara els triangles de colors dels diferents tipus de *backlight* que podem trobar al mercat

- Tenen una vida útil d'entre 35.000 i 50.000 h (equivalent a entre 4 i 5,7 anys) i es veu molt poc afectada pels cicles de commutació (encès/apagat).
- Resposta d'encesa ràpida (pot arribar a ser inferior a 1µs).
- Menor consum energètic, ja que els LEDs consumeixen fins un 30% menys que els fluorescents.

<sup>2</sup> NTSC: Sistema de televisió analògica en color utilitzat des de 1954 fins a la conversió digital.

- Menys contaminants (ja que no precisen de mercuri, halògens...) i pràcticament no emeten radiació IR.

També trobem desavantatges:

- Construir una pantalla LCD LED és més car, ja que per il·luminar es necessita més quantitat de lluminàries que quan es construeix amb fluorescents una LCD CCFL.
- Els LEDs blancs (llum freda) emeten una quantitat elevada de llum blava, que és perjudicial per a la salut.

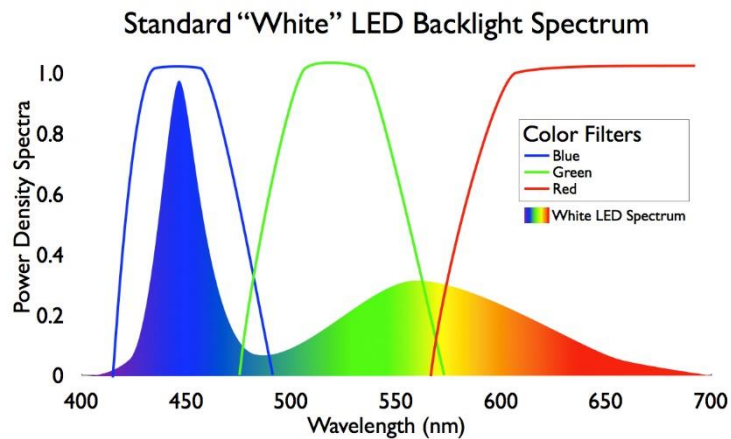
### 1.3.5. Desenvolupament del LED blau

Els LEDs vermell i verd ja feia anys que existien però cap a principis del 1990, Isamu Akasaki (Chiran, 1929) i Hiroshi Amano (Hamamatsu, 1960) de la Universitat de Nagoya (Japó) juntament amb Shuji Nakamura (Ikata, 1954) de la Universitat de Califòrnia (Estats Units) inventen el LED d'emissió blava. Aquesta havia sigut la fita, fins aleshores fallida, de molts altres investigadors durant tres dècades. Aquest avenç va suposar que la Reial Acadèmia Sueca de Ciències els atorgués el premi Nobel de física l'any 2014, ja que gràcies a la seva troballa van aconseguir crear el LED blanc.

Aquest tipus de làmpada emet una llum blanca brillant, duradora i més eficient energèticament en comparació amb les fonts de llum anteriors (incandescents, fluorescents, sodi, mercuri...).

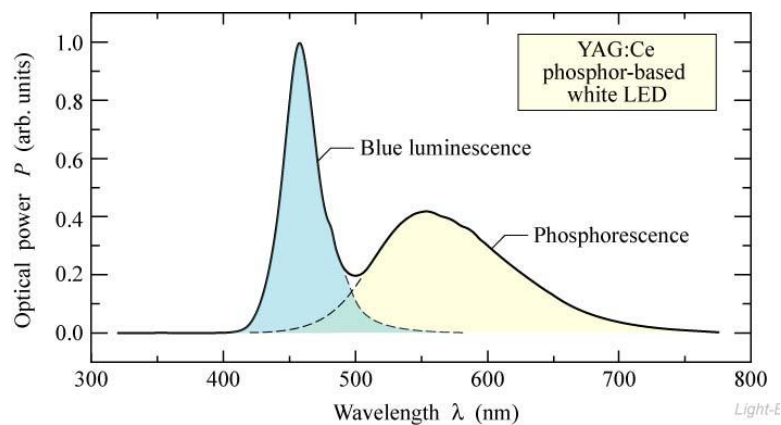
La llum blanca pot ser generada per dos mètodes diferents:

- Mitjançant la combinació dels tres LEDs: vermell, verd i blau, variant individualment la intensitat dels xips dels tres colors. Aquests dispositius emeten una longitud d'ona visible pròpia que quan és suma, produeix la llum blanca (**figura 7**). Podem trobar els tres colors en una mateixa càpsula (LED RGB) o bé separats.



**Figura 7.** Espectre LED blanc. Combinació LEDs RGB

- El mètode més utilitzat es basa en la combinació d'un convertidor de longitud d'ona de fòsfor amb un xip GaN LED blau. La llum emesa pel xip GaN LED es absorbeix per el fòsfor de granat d'itri i alumini (YAG) i re emesa com a fosforescència groga (J. K. Sheu, 2003). Per tant, aquest mètode es basa en la unió de dues bandes, una amb un pic d'emissió a 450nm (LED) i l'altre amb una banda ampla entre 450 i 750 nm (fòsfors) (**figura 8**).



**Figura 8.** Espectre LED blanc. Combinació LED blau i fòsfors

## 2. Com ens afecta la llum blava?

### 2.1. La visió:

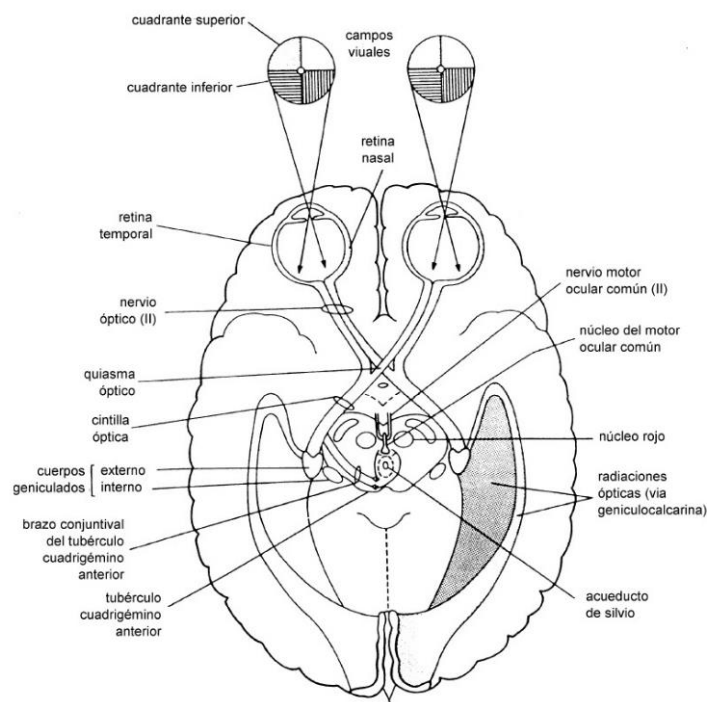
#### 2.1.1. Procés de la visió

El procés de la visió es pot dividir en diferents etapes: òptica, retiniana i cortical com es pot apreciar en la **Figura 9**.

En la primera etapa, es forma una imatge sobre la retina. En el cas d'un ull ametrop (sense cap error refractiu) aquesta imatge es formarà nítida a la retina tant si l'objecte es troba a prop com lluny.

Durant la segona etapa es duu a terme la fototransducció i la codificació del senyal. La llum que arriba a la retina estimula els fotoreceptors, aquests transformen els fotons en un senyal nerviós que és enviat, a través de les diferents cèl·lules ganglionars, fins al nervi òptic.

Finalment, en la tercera etapa, la informació codificada de les cèl·lules ganglionars és enviada al còrtex visual, on és descodificada i integrada fins a obtenir la percepció visual. De les cèl·lules ganglionars passa pel tàlem (cos geniculat lateral), a través dels camins magno cel·lulars i parvo cel·lulars fins arribar a les zones corticals específiques: l'àrea visual primària i les àrees visuals secundàries.



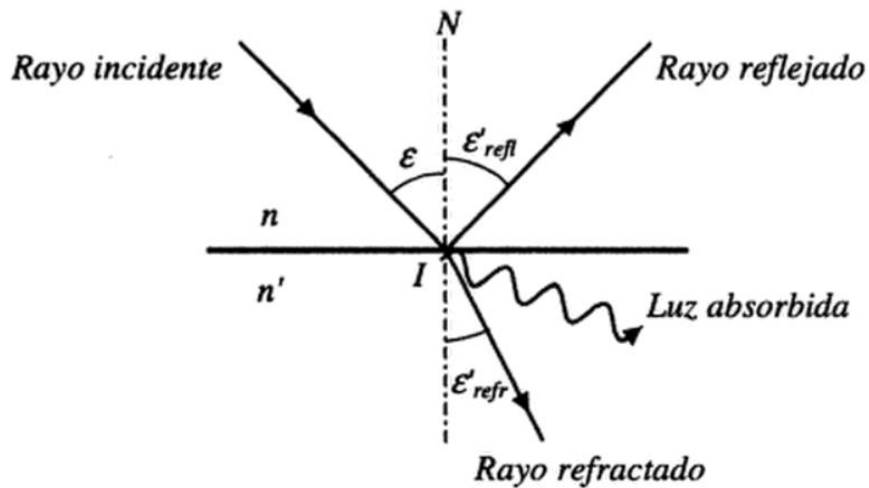
**Figura 9.** Vies visuals

## 2.1.2. Radiació i estructures oculars

### 2.1.2.1. Fenòmens òptics

L'espectre electromagnètic sencer ens arriba a l'ull, però només una petita part és transmesa a la retina. Per tal que això sigui possible s'han de produir diferents fenòmens òptics: l'absorció, la reflexió i/o la refracció (també coneguda com a transmissió).

En general, en una superfície llisa es duen a terme els processos de la reflexió i la refracció, i una petita part és absorbida pel material. (**Figura 10**)



**Figura 10.** Imatge representativa de la reflexió, la refracció i l'absorció

El flux incident de llum ( $\Phi$ ) pot ser expressat com el sumatori del flux transmès, el flux reflectit i el flux absorbit:

$$\theta = \theta_T + \theta_R + \theta_A$$

La relació entre la potència de cada un d'aquests fluxos amb la potència incident ens indica els coeficients de transmitància (T), de reflectància o reflexió (R) i d'absorbància (A). Segons la llei de conservació de l'energia:

$$T + R + A = 1$$



### 2.1.2.2. Radiació

El sol emet radiació des de 150 nm fins a 4  $\mu\text{m}$ , però gràcies a l'atmosfera terrestre, que fa de filtre protector, només arriba a la superfície un percentatge de la radiació no ionitzant: composta des de la radiació UV fins a l'IR.

Tal com s'observa en la **Taula 1**, la radiació UV i IR es troba dividida en tres regions diferents segons les longituds d'ona que ocupa.

UV-C	100nm-280nm
UV-B	280nm-315nm
UV-A	315nm-400nm
VIS	380nm-780nm
IR-A	760nm-1400nm
IR-B	1.4 $\mu\text{m}$ -3 $\mu\text{m}$
IR-C	3 $\mu\text{m}$ -1mm

**Taula 1.** Radiacions ionitzants classificades segons la CIE

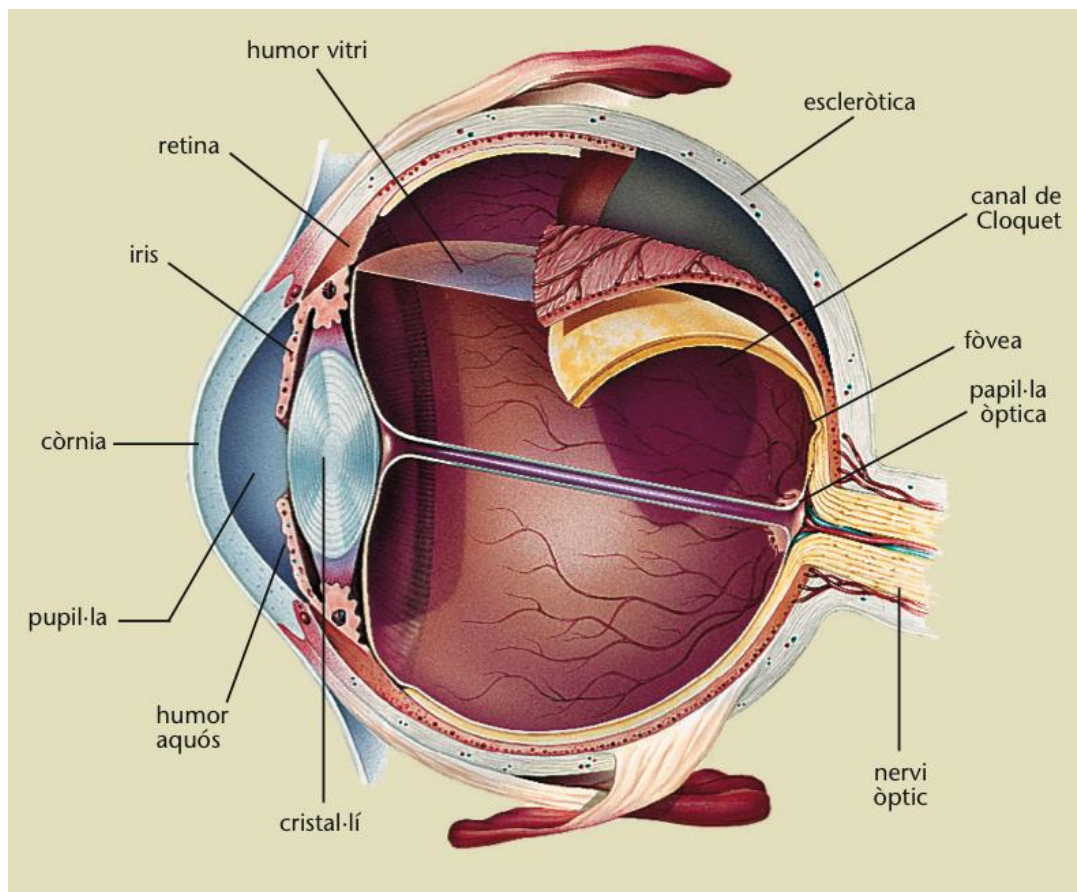
La majoria de la radiació UVC és filtrada pels components de l'atmosfera: oxigen, ozó, diòxid de carboni, vapor d'aigua i pols. L'ozó absorbeix majoritàriament les  $\lambda$  entre 200 nm i 300 nm, de manera que ens arriba la radiació menys energètica de l'UV.

Degut a l'ús dels CFC (clorofluorocarbonis), un grup de compostos que contenen clor fluor i carboni, s'ha creat un forat en la capa d'ozó, situada a la capa anomenada estratosfera a uns 20-30 km de la superfície, que provoca que la radiació més nociva per als éssers vius arribi a la Terra. Aquestes substàncies estan prohibides en molts països ja que són tòxiques i tenen la capacitat de destruir l'ozó: abans es feien servir com a líquids refrigerants, agents extintors, propulsors d'aerosols o per a la construcció de plàstics.

En el cas de la radiació IR, aquesta és absorbida majoritàriament pel vapor d'aigua que es troba en l'atmosfera, tot i que tant el diòxid de carboni com les molècules d'oxigen també intervenen. Per tant, els dies ennuvolats arriba menys IR a la Terra.

### 2.1.2.3. Estructures oculars

L'ull pot ser esquematitzat com a un sistema òptic, és a dir, un conjunt de superfícies que separen medis de diferent índex. Podem considerar que està format per diferents dioptries (**Figura 11**): la superfície anterior i posterior de la còrnia, i superfície anterior i posterior del cristal·lí. Entre la còrnia i el cristal·lí trobem el que anomenem cambra anterior, on circula l'humor aquós. La zona que es troba en contacte amb la part posterior del cristal·lí i amb la retina l'anomenem cambra posterior i està plena de l'humor vitri.



**Figura 11.** Secció transversal d'un ull

Les principals estructures de l'ull que s'ocupen de l'absorció de la radiació no ionitzant són la còrnia i el cristal·lí, tot i que la retina i l'iris - gràcies als grànuls de melanina que trobem a l'epiteli pigmentari - també contribueixen en el procés.

La còrnia és la part més anterior de l'ull, es caracteritza per ser transparent i avascular. Està composta de diferents estrats: epiteli, membrana de Bowman, estroma, membrana de Descemet i endoteli.

La còrnia absorbeix majoritàriament la llum ultraviolada C i transmet l'energia radiant de  $\lambda \geq 295$  nm. També absorbeix una part de la radiació UV-B i UV-A. La sobreexposició a les radiacions UV pot arribar a causar lesions: reversibles, en l'epiteli corneal degut a l'UV-B i l'UV-A, o profundes, induïdes per l'UV-C, que poden arribar a afectar l'estroma o la membrana de Bowman, provocant així l'opacificació i la neovascularització de la còrnia. Una exposició perllongada pot implicar l'aparició de pterigis o fins i tot, melanoma ocular. (Behar-Cohen, et al., 2011).

La còrnia també té capacitat per absorbir la majoria de la radiació Infraroja (IR) compresa entre 760 nm i 1 mm. L'energia associada a l'infraroig és elevada i pot arribar a produir lesions a l'epiteli o fins i tot a l'estroma. La radiació IR-B és absorbida tant per la còrnia com pels dos humors de l'ull, el vitri i l'aquós.

El cristal·lí és una lent biconvexa de potència variable, no innervada i avascular. Creix al llarg de tota la vida, quedant el nucli intacte però augmentant el diàmetre del còrtex. Se sap que pateix canvis biofísics amb els anys, passa d'un to incolor o groc pàl·lid a un groc fosc i pot arribar a tons marrons i fins i tot negres en la vellesa, com es pot observar en la **Figura 12**. Es creu que és el resultat de la unió de 3-HKG (3-hidroxiquinureina) i els seus derivats metabòlics a proteïnes per a produir proteïnes pigmentades grogues que també absorbeixen radiació UV (Yanoff & Duker, 2009), per tant, el cristal·lí adult absorbeix una gran part de la radiació UV-B, tota la procedent del UV-A, i una part de la radiació pròxima al IR. En els cristal·lins joves, tots aquests processos encara no s'han dut a terme i per tant la quantitat de radiació UV que és transmesa fins a la retina és més elevada.



**Figura 12.** Evolució del to en el cristal·lí al llarg dels anys

Les cataractes són el resultat de l'envelliment del cristal·lí degut a una l'exposició perllongada a la radiació UV, entre altres factors. La lent es torna opaca i només deixa passar una part atenuada de llum, la llum es dispersa. Per altra banda, al esgrogueir-se també veu augmentada la seva capacitat d'absorció de la llum blava.

Degut a què les parts més anteriors a la retina absorbeixen la majoria de les radiacions ionitzants, el que arriba és principalment llum visible, una part de l'IR-A i una ínfima part de l'UV. L'epiteli pigmentat de la retina té la funció d'absorbir la llum dispersa dins de l'ull.

## 2.2. El blau i l'UV a nivell de retina

### 2.2.1. La retina

La retina és una membrana transparent que s'aguanta gràcies a la pressió que efectua el cos vitri<sup>3</sup>, ja que únicament es troba unida a la zona de la papil·la òptica (punt on el nervi òptic entra en el globus ocular) i a l'ora serrata (límit anterior de la retina).

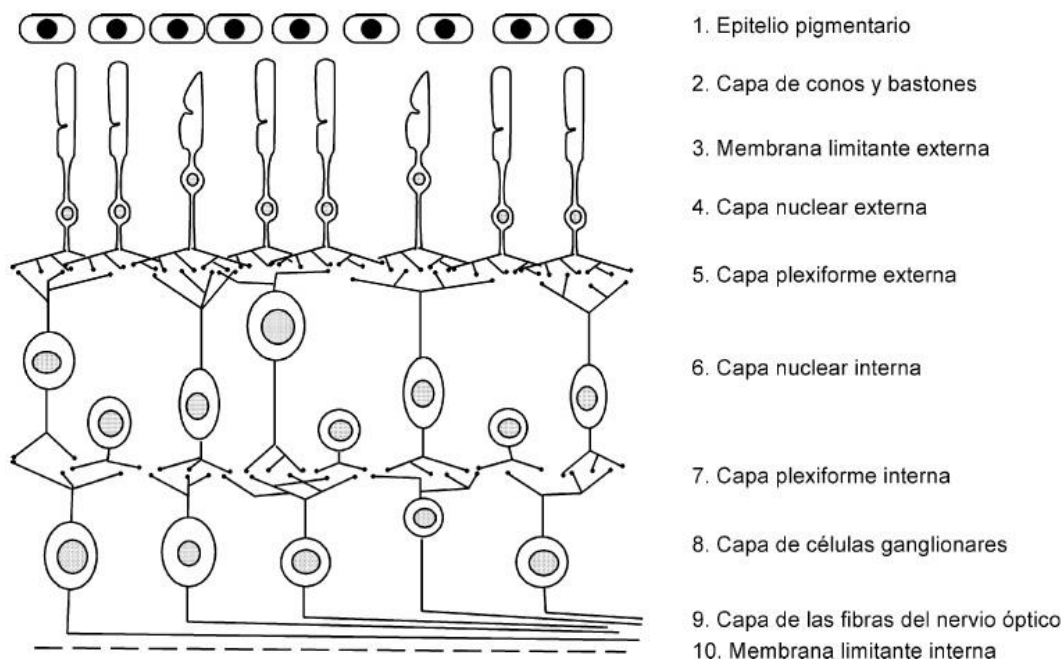
Tant el gruix com l'estructura retinal varia segons la zona: la retina central és diferent de la retina perifèrica que és com s'anomena tota la zona restant. En la papil·la òptica hi ha absència de fotoreceptors i per tant és la zona cega de la retina. Aquesta zona es troba desplaçada nasal i inferiorment respecte el centre.

En la retina perifèrica hi ha 10 capes diferenciades, tal i com es pot apreciar en la **Figura 13**.

- L'epiteli pigmentari (EPR) és la capa més externa de la retina i està format per una sola capa de cèl·lules cúbiques que contenen melanina. Participa tant en la formació dels pigments visuals dels fotoreceptors com en la renovació dels discs membranosos dels segments externs dels fotoreceptors.

---

<sup>3</sup> Cos vitri: Gel transparent que omple la cambra vítria



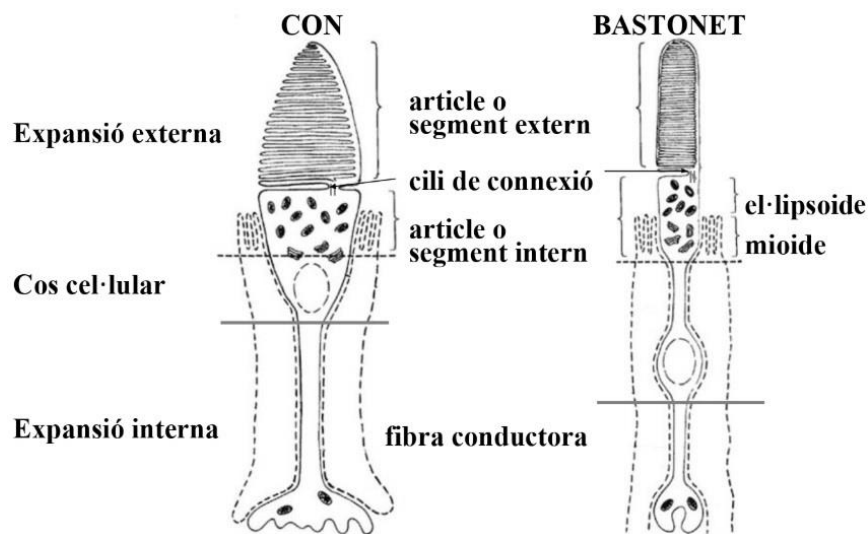
**Figura 13.** Capes de la retina perifèrica

- La capa de fotoreceptors és on es troben els segments externs dels dos tipus de cèl·lules fotosensibles: els cons i els bastonets. Els bastonets són sensibles a les baixes intensitats de llum, permeten la visió en blanc i negre i detecten el moviment (intervenen en la visió nocturna o escotòpica) i a l'ull n'hi ha entre 100 i 120 milions. Els cons actuen en intensitats de llum elevada, es a dir, en la visió diürna o fotòpica, permeten la visió cromàtica i la discriminació de la forma i dels detalls, aproximadament n'hi ha entre 6 i 7 milions a l'ull.

Ambdues cèl·lules són allargades i es poden dividir en tres parts: l'expansió externa, que ens ajuda a diferenciar unes cèl·lules de les altres i està formada per discs membranosos apilats, el cos cel·lular (ovalat i més voluminós en els cons i esfèric en els bastonets) i finalment l'expansió interna, com mostra la **Figura 14**. En la membrana dels discs trobem proteïnes de transmembrana que resulten el pigment visual. En els cons aquest pigment és la iodopsina que és sensible a diferents longituds d'ona:  $\lambda$  curta (420-450 nm),  $\lambda$  mitjana (530-540 nm) i  $\lambda$  llarga (560-570 nm). En el cas dels bastonets, el pigment s'anomena rodopsina i és sensible a  $\lambda$  pròximes a 500 nm. Cada con només pot tenir un tipus

de iodopsina, per tant només és sensible a un color (blau, verd o vermell). En funció de quins cons estiguin estimulats, es percep un color o un altre de l'espectre visible.

La disposició i la tipologia dels cons al llarg de tota la retina no es homogènia, ja que es troben molts més cons del tipus L (sensibles a les  $\lambda$  llargues) que del tipus S (sensibles a les  $\lambda$  curtes). De mitjana, la proporció en la retina és de 40 L, 20 M i 1 S. La majoria dels cons S es troben a la retina perifèrica i en canvi la majoria dels cons L i M a la retina central.



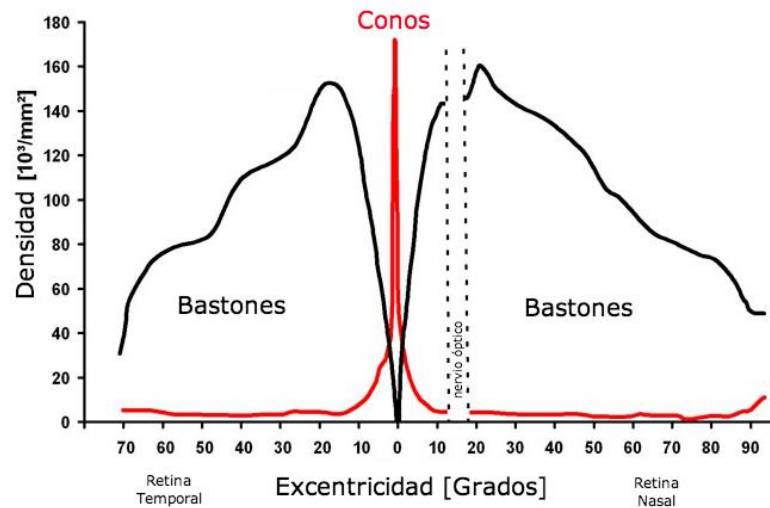
**Figura 14.** Parts de les cèl·lules fotoreceptores

- La membrana limitant externa manté els fotoreceptors de manera que, quan incideix llum a la retina, aquesta arriba als discos membranosos. No és una membrana en sí sinó que està composta pels segments interns dels cons i bastonets. També hi ha les connexions de les cèl·lules glials de Müller.
- La capa nuclear externa és on es troben els somes de les cèl·lules fotoreceptores i les expansions dels segments.
- La capa plexiforme externa és on es troba l'expansió interna dels fotoreceptors, anomenada pedicle en els cons i esfèrula en els bastonets. Aquí es produeix la connexió sinàptica entre les cèl·lules fotoreceptores, les cèl·lules bipolars, les cèl·lules interplexiformes i les cèl·lules

horitzontals. Com més pròxima a la zona de la fòvea més gruixuda és aquesta capa, ja que els axons de les cèl·lules fotoreceptores són més llargs i oblics (Urtubia Vicario, 1999).

- La capa nuclear interna està formada pels somes de les cèl·lules bipolars, horitzontals, amacrines, interplexiformes, ganglionars desplaçades i de les cèl·lules glials de Müller.
- La capa plexiforme interna és la zona on es produeix la connexió sinàptica entre les cèl·lules bipolars, les cèl·lules amacrines, les cèl·lules ganglionars i les cèl·lules interplexiformes.
- La capa de cèl·lules ganglionars està formada pels somes de les cèl·lules ganglionars que es troben distribuïdes per les diferents capes de la retina. Algunes cèl·lules amacrines desplaçades fan sinapsi en la capa plexiforme interna.
- La capa de fibres del nervi òptic està formada pels axons de les cèl·lules ganglionars situades a un angle de  $90^\circ$ , de manera que els axons queden col·locats paral·lels a la superfície interna de la retina i acaben formant el nervi òptic.
- La membrana limitant interna és la que separa la retina del cos vitri.

A la retina central o regió macular, anatòmicament hi ha quatre parts diferenciades, la perifòvea, la parafòvea, la fòvea, i finalment, la foveòla que és la zona més prima de la retina i equival a la zona de màxima agudeses visual. Clínicament només es diferencia la depressió central (fòvea) en la màcula. Aquesta part de la retina està formada únicament de cons (no hi ha bastons) i per això es perceben els colors i els detalls fins. (**Figura 15**).



**Figura 15.** Disposició de les cèl·lules fotoreceptores a la retina

Per tant, tal com veiem, la retina dels humans està invertida, és a dir que els fotoreceptors es troben a la part més externa i les neurones que s'ocupen del processament i la transformació de la informació es troben a la part més interna.

### 2.2.2. Mecanismes de protecció de la retina

La màcula està coberta per un pigment groc que no és fotosensible, format pels carotens luteïna i zeaxantina<sup>4</sup>, que absorbeixen les  $\lambda$  entre 400-500 nm (llum blava). La luteïna protegeix contra el dany oxidatiu i és un eliminador de l'oxigen singlet<sup>5</sup>: es troba concentrat en la màcula dels nens i va reduint-se a mida que es creix (Behar-Cohen, et al., 2011).

No hi ha consens sobre si existeix una relació causal entre l'exposició a la llum solar i la degeneració macular associada a l'edat (DMAE), però la presència de lipofucsina en la màcula augmenta en la DMAE seca abans de ser atrofiada (Villegas-Pérez, 2005). La lipofucsina de la retina és un pigment compost de residus dels segments externs dels fotoreceptors. Aquest pigment és un

<sup>4</sup> Només es pot incrementar al llarg de la vida amb el consum nutricional, ja que es troba en alguns aliments com els vegetals verds. Se sap per estudis que la ingesta d'aquests aliments redueix la progressió de la DMAE.

<sup>5</sup> Oxigen singlet: Àtom d'oxigen excitat



indicador de la vellesa de la cèl·lula i apareix en forma de druses<sup>6</sup>, genera substàncies oxidants i fosforescència quan és estimulada. Els efectes oxidatius que produeix en la retina augmenten amb l'edat i també quan l'estimulació del pigment és produïda per longituds d'ona curtes (ja que són més energètiques i fototòxiques) i poden arribar a atrofiar les cèl·lules de l'EPR i a produir la degeneració dels fotoreceptors.

## 2.3. Degeneració Macular Associada a l'Edat

### 2.3.1. Definició

La degeneració macular associada a l'edat és una malaltia que presenta una pèrdua de visió central progressiva e irreversible. Si bé pot causar incapacitat en realitzar certes activitats com la lectura o la conducció, no arriba a produir una ceguera total. Es caracteritza per provocar diferents alteracions en la retina: degeneració i atrofia pigmentària, druses, dipòsits de lipofucsina i elevació de les còpies internes degudes als exsudats. El camp visual perifèric no es veu alterat i afecta sobretot a la màcula, que ens permet veure els detalls fins.

### 2.3.2. Prevalença i factors de risc

La DMAE és la principal causa de pèrdua de visió a Espanya en persones majors de 50 anys. A partir dels 70 anys la prevalença augmenta exponencialment, i la probabilitat de patir aquesta patologia de manera bilateral és molt elevada en els pacients de més de 85 anys. Es creu que un 70% dels factors de risc són genètics i el 30% restant es degut a factors ambientals. Els principals factors de risc són:

- L'edat i el sexe: com hem dit, hi ha més probabilitats de patir DMAE en pacients majors de 55 anys. S'ha vist que les dones tenen més probabilitats de desenvolupar-la en edats precoces.

---

<sup>6</sup> Acumulació de lípids de mida variable, normalment associades amb la hipertrofia i l'atrofia de l'EPR. No causen la DMAE però la seva presència augmenta el risc de sofrir-la.

- La raça: Els caucàsians tenen més probabilitats de patir la malaltia que els africans o els asiàtics.
- La refracció: hipermetropies  $>0.75D$  tenen 2.5 més probabilitat de patir DMAE humida (vegi's el proper apartat).
- L'herència: entre el 10-20% dels pacients que pateixen DMAE tenen familiars amb 1r grau de DMAE.
- Problemes sistèmics: les malalties cardiovasculars com els problemes circulatoris, hipertensió, l'arterioesclerosi, un atac cardíac o una angina de pit, augmenten les probabilitats de patir DMAE.
- Els hàbits: tant les persones amb obesitat com les persones fumadores tenen més riscos de desenvolupar la patologia.

La detecció precoç d'aquesta patologia és important per a poder alentar la seva progressió: és possible si es segueix una dieta equilibrada, rica en vitamines i antioxidants. Per tant, és molt recomanable realitzar visites de control a l'oftalmòleg, sobretot si existeixen antecedents de familiars que han desenvolupat aquesta patologia, i realitzar una autoavaluació monocular amb el test d'Amsler.

### 2.3.3. Tipus de DMAE

Existeixen dos tipus de DMAE diferenciats: la DMAE seca (o atròfica) i la DMAE humida (o exsudada).

- La DMAE seca (**Figura 16**) és el tipus més comú. Es produeix una pèrdua de visió central lenta i indolora, desenvolupant escotomes<sup>7</sup> centrals precoços. L'epiteli pigmentat de la retina i la coroides es desintegren i provoquen una pigmentació irregular de la màcula. Aquesta desintegració altera el metabolisme de la retina, provocant un aprimament de la zona macular. En els primers estadis apareixen druses però no hi ha afectació visual; amb la progressió de la malaltia, la mida de les druses va augmentant i es van deteriorant les cèl·lules retinianes de manera que el pacient percep una imatge central borrosa.

---

<sup>7</sup> Zona cega parcial, temporal o permanent del camp visual

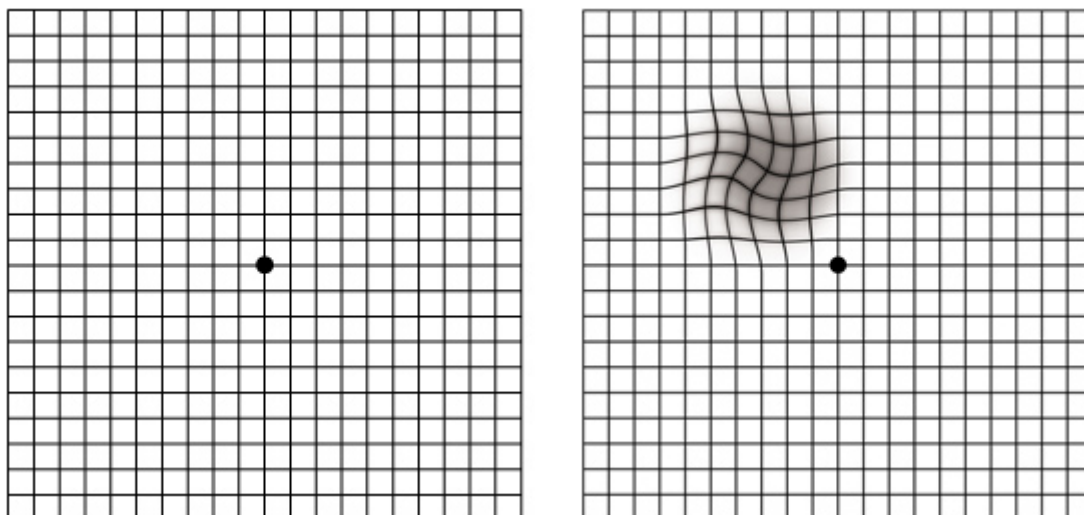


**Figura 17.** Fons d'un ull esquerre amb DMAE seca, s'observen druses repartides per la retina



**Figura 16.** Fons d'un ull esquerre amb DMAE humida, s'observa una hemorràgia subretinal

- La DMAE humida (**Figura 17**) és l'etapa més avançada de la DMAE seca i provoca una pèrdua de visió ràpida. Degut a la descomposició de l'EPR apareixen neovasos en una zona de la retina, característics d'aquesta patologia, que alliberen fluid per sota l'EPR i la retina sensorial. A mida que els vasos segreguen líquids i sang, es van formant cicatrius a la retina, provocant així una pèrdua de visió. Un dels primers símptomes és la metamorfopsia, on el pacient refereix percebre les imatges centrals distorsionades (**Figura 18**). Apareixen escotomes centrals o paracentrals.



**Figura 18.** Percepció de la graella d'Amsler amb visió normal i percepció de la graella d'Amsler amb DMAE

#### 2.3.4. Diagnòstic i tractament

Per a poder obtenir un diagnòstic de la DMAE cal realitzar diferents proves, que poden ser objectives o subjectives. La graella d'Amsler és una prova subjectiva en la que el pacient ens indica com veu les línies o si desapareix alguna zona de la graella. Aquesta prova ens permet comprovar si hi ha distorsions en la percepció visual o si existeix un escotoma central.

També és important revisar el fons d'ull, ja sigui realitzant una Tomografia de Coherència Òptica (OCT) o una angiografia amb fluoresceïna. Totes dues són proves objectives que permeten observar l'aparició de druses i hemorràgies, exsudats o cicatrius a la màcula. Amb la angiografia podem verificar la presència de neovascularització i hemorràgies subretinals.

No existeix tractament per a la DMAE seca. El tractament de la DMAE humida es centra en actuar sobre la angiogènesi (formació de vasos a partir dels que ja estan formats). Es pot realitzar tant la teràpia fotodinàmica com la teràpia anti-angiogènica. La teràpia fotodinàmica té com a objectiu destruir els neovasos utilitzant fàrmacs fotoreactius que en reaccionar amb un làser produeixen substàncies químiques que destrueixen les estructures patològiques però sense afectar a les estructures adjacents. Per altra banda, la teràpia anti-angiogènica

es basa en bloquejar els receptors del factor de creixement vascular endotelial<sup>8</sup>, els quals activen reaccions de transducció intracel·lulars que produeixen un creixement de les cèl·lules i augmenten la permeabilitat vascular.

#### 2.4. Estudis *in vitro* i de laboratori que relacionen els LEDs blaus amb la DMAE

L'any 2012 a la *Universidad Complutense de Madrid*, la Dra. Celia Sánchez-Ramos i el seu equip realitzen un estudi anomenat "*Effects of Light-emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelial Cells In Vitro*" (Chamorro, et al., 2013) on investiguen els efectes de les radiacions LED en cèl·lules humanes de la capa de l'EPR. Els autors exposen les cèl·lules (utilitzant un sistema d'il·luminació LED) a llum blava (468 nm), llum verda (525 nm), llum vermella (616 nm) i llum blanca, realitzant tres cicles llum-fosc de 12 h cada un. Després de l'últim cicle de fosc analitzen els nivells de fototoxicitat de la cèl·lula induïda segons la  $\lambda$  a la que ha estat exposada. L'estudi demostra que les cèl·lules són molt més sensibles a la llum blava que no pas a la verda o a la vermella.

En un altre estudi anomenat "*Role of metalloproteases in retinal degeneration induced by violet and blue light*" (Sánchez-Ramos, y otros, 2010) el mateix equip comprova *in vivo* els efectes en la retina de la il·luminació LED durant dos anys. Realitzen l'estudi en conills, als que han implantat una lent intraocular (LIO) diferent a cada ull: transparent i groga.

Aquest estudis demostren que existeix un risc d'apoptosi de les cèl·lules retinals en l'exposició a la llum blava. No obstant, únicament podríem extrapolar les dades obtingudes en l'estudi *in vivo* – amb unes condicions més semblants a les que els éssers humans estem exposats – ja que en l'estudi *in vitro* a les cèl·lules els mancaven els mecanismes de protecció habituals en l'ull. Val a dir, però, que a data d'avui no existeixen estudis longitudinals, controlats, aleatoris, en humans, que permetin concloure de manera ferma que l'exposició a la llum blava condueix a una major mort cel·lular o a una aparició prematura de la DMAE.

---

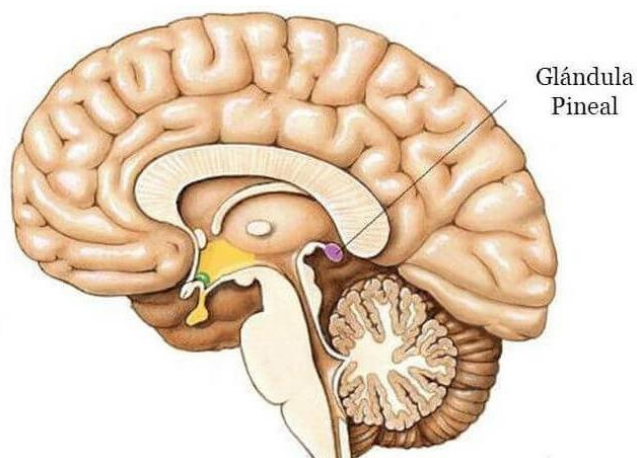
<sup>8</sup> Factor de creixement vascular endotelial: és una proteïna senyalitzadora encarregada de crear vasos sanguinis, ja sigui nous o a partir dels existents.

## 2.5. Ritmes circadialis

El que es coneix com a ritme circadiari, que prové dels termes *circa* que vol dir al voltant i *diem* que significa dia, són aspectes fisiològics i de comportament que es repeteixen cíclicament cada 24 h aproximadament (entre les 20 h i les 28 h) tant en els humans, com en els animals i les plantes.

En la retina trobem tres tipus de cèl·lules fotoreceptores: a més dels cons i els bastonets, mencionats abans, tenim les cèl·lules ganglionars. Aquestes últimes, contenen un fotopigment anomenant melanopsina que és estimulat per la llum solar. Les cèl·lules ganglionars no tenen una funció en la percepció de les imatges sinó que regulen el ritme circadiari, els reflexes pupil·lars i altres funcions biològiques, com per exemple la regulació de la segregació de melatonina o “hormona de la son” per part de la glàndula pineal (**figura 19**). La concentració d'aquesta hormona en el cos varia al llarg del cicle dia-nit, arribant al zenit a la nit, moment en que és segregada.

La melanopsina té un màxim d'absorció en la radiació blava, exactament a 480 nm, que coincideix amb el màxim que emeten els LEDs blancs. Estudis recents conclouen que l'exposició a aquests tipus de  $\lambda$  curtes pot augmentar l'estat d'alerta i estimular les funcions cognitives, interrompent la segregació de melatonina. Per tant, l'ús de dispositius retro-il·luminats o de lluminàries que es basen en el sistema LED, abans d'anar a dormir, pot provocar l'aparició de l'insomni i una alteració dels ritmes circadialis (Tosini, Ferguson, & Tsubota, 2016).



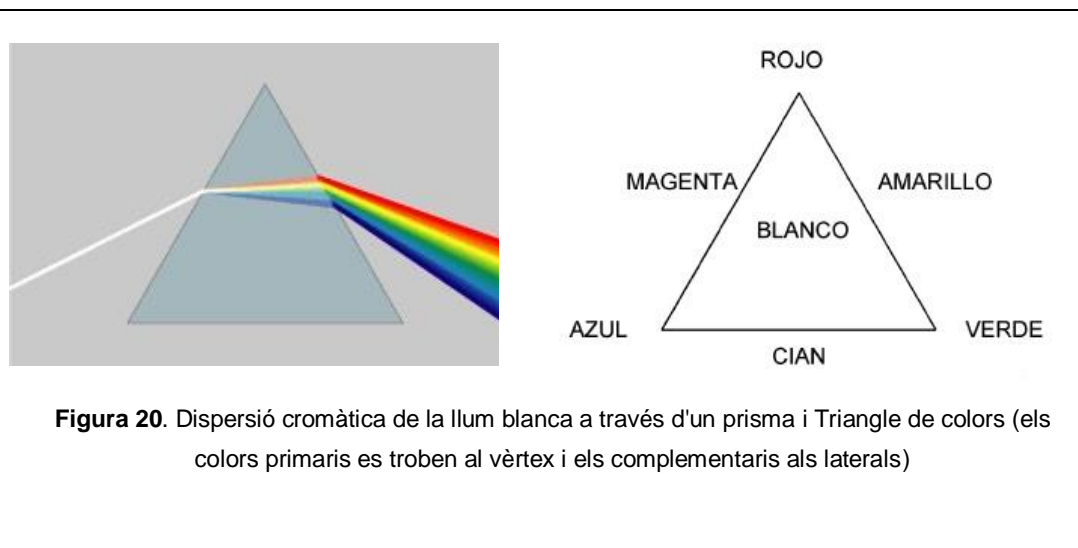
**Figura 19.** Ubicació de la glàndula pineal al cervell

### 3. Estratègies per reduir l'efecte de la llum blava

Quan incideix llum blanca en un medi transparent es dispersa en diferents colors, els mateixos que componen totes les  $\lambda$  de l'espectre visible. El primer en experimentar amb aquest fenomen va ser Isaac Newton (**Figura 20**).

Una manera fàcil de representar els colors que formen l'espectre visible és mitjançant un triangle. Es consideren colors primaris aquells que sumats poden reproduir tots els colors i la llum blanca, es a dir: el vermell, el verd i el blau; aquests es trobarien representats als vèrtex del triangle, com es pot observar en la **Figura 20**. Els colors complementaris són dos colors, que tot i estar situats a costats oposats del triangle, quan se sumen produeixen percepció de color blanc.

Un filtre òptic és un objecte que modifica de manera selectiva l'espectre de la llum que incideix sobre el mateix mitjançant els fenòmens òptics de l'absorció o la transmissió, de manera que l'espectre de sortida variï en algunes zones. Quan és necessari bloquejar una radiació específica, s'aconsegueix amb un filtre del seu color complementari.

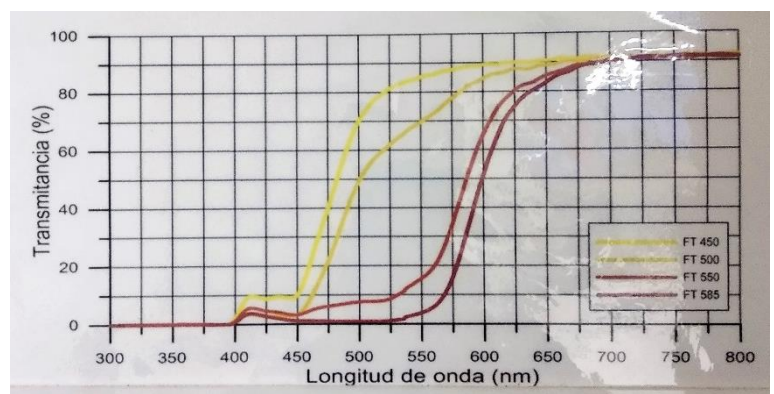
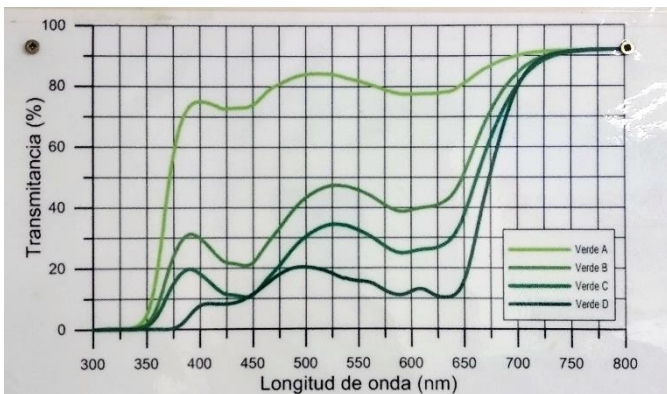


#### 3.1. Normatives

Per tal que un filtre solar sigui considerat de protecció ha de complir certes propietats òptiques, refractives, físiques i mecàniques.



- Dins de les propietats òptiques trobem la transmissió, la densitat òptica i la fidelitat cromàtica.
  - Per a conèixer la transmissió d'un filtre s'ha d'observar les corbes de transmissió, com les que trobem representades en la **Figura 21**, que ens indiquen exactament quines longituds d'ona i quin percentatge de radiació absorbeixen i/o transmeten. També podem saber aproximadament la coloració<sup>9</sup> del filtre o el to<sup>10</sup>, i fins i tot on es troba la zona de tall, que és el punt en que el filtre comença a transmetre radiació o bé realitza una absorció del 100% de les  $\lambda$  que són perjudicials per a l'organisme. Aquestes corbes es determinen normalment amb un espectrofotòmetre.
  - La densitat òptica es defineix com el logaritme de la inversa de la transmissió. Ve determinada pel material, de manera que ens permet conèixer la densitat per a un cert gruix del mateix material.
  - La fidelitat cromàtica es veu afectada quan un filtre absorbeix un alt percentatge d'una zona de l'espectre, alterant així la percepció dels colors.



**Figura 21.** Corbes de transmissió de filtres verds i grocs dels tons A, B, C i D

<sup>9</sup> En els filtres de coloració existeix una curvatura diferent segons la  $\lambda$ .

<sup>10</sup> El to en una lent ens diu el grau de protecció respecte a la radiació. S'organitzen del nivell més baix (A) al més alt (D).



- Les propietats refractives es refereixen als valors de la potència de vèrtex posterior (Pvp) i la potència prismàtica ( $\Delta$ ) permeses segons la normativa UNE-EN ISO 12312-1:2013 per tal de considerar la qualitat del filtre bona, ja que les lents de protecció solar han de ser neutres.
- Les propietats físiques es basen en la integritat estructural, tenint en compte la geometria i tots els paràmetres que defineixen la homogeneïtat de l'estructura i els defectes físics superficials o en massa que puguin produir-se durant la seva fabricació.
- Les propietats mecàniques que s'avaluen són la resistència al ratllat, la resistència al trencament i la resistència a l'impacte. Segons els resultats obtinguts es poden classificar els filtres en nivells de resistència.

La classificació dels filtres de protecció solars, tenint en compte la densitat òptica, distingeix 4 categories diferents segons el grau de transmissió (**Taula 2**) i exposa les aplicacions, les restriccions i les indicacions d'ús.

<b>Categoria</b>	<b>Transmissió</b>	<b>Aplicacions</b>	<b>Restriccions</b>	<b>Indicacions</b>
<b>0</b>	80%-100%	Lents clares	Cap	Interior o cel ennuvolat
<b>1</b>	43%-80%	Lleugerament acolorida	No vàlides per a la conducció nocturna	Lluminositat solar atenuada
<b>2</b>	18%-43%	Mitjanament acolorida	No vàlides per a la conducció nocturna	Lluminositat solar mitja
<b>3</b>	8%-18%	Fortament acolorida	No vàlides per a la conducció nocturna	Forta lluminositat solar

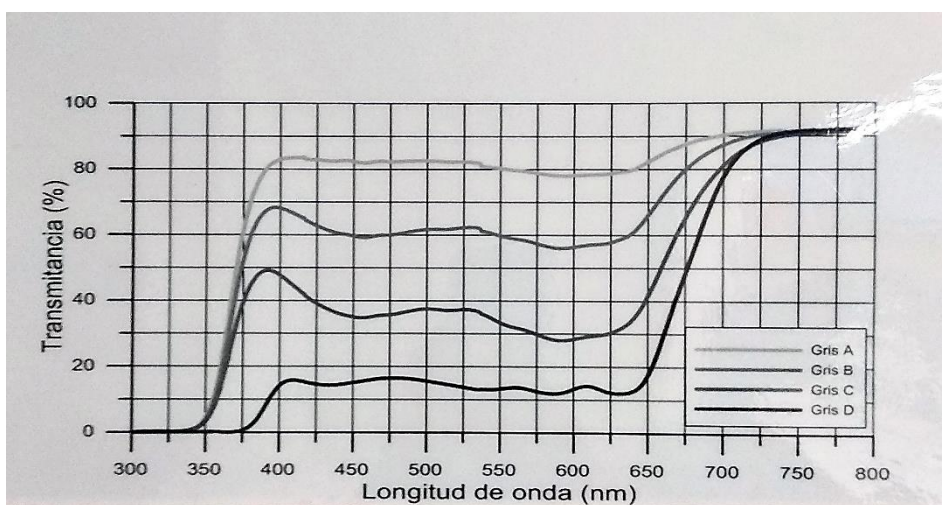
4	3%-8%	Molt fosca	No vàlides per a la conducció nocturna	Lluminositat excepcional.
---	-------	------------	--	---------------------------

**Taula 2.** Classificació UNE-EN 1836:2006

### 3.2. Tipus de filtre

Els filtres se solen classificar en 3 tipus, segons si són de densitat neutra (coneguts també com a convencionals), polaritzats, o de banda.

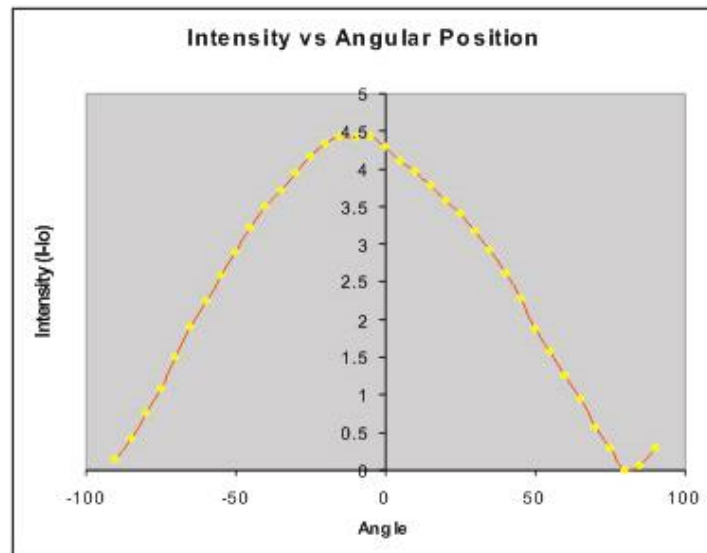
- Els filtres de densitat neutra es caracteritzen per tenir una transmissió igual en totes les  $\lambda$  del visible. Redueixen la lluminositat però sense alterar el to i tenen un tall de protecció menor o igual a 390 nm (Sánchez-Ramos Roda, 2010). (**Figura 22**)



**Figura 22.** Corba de transmissió d'un filtre neutre

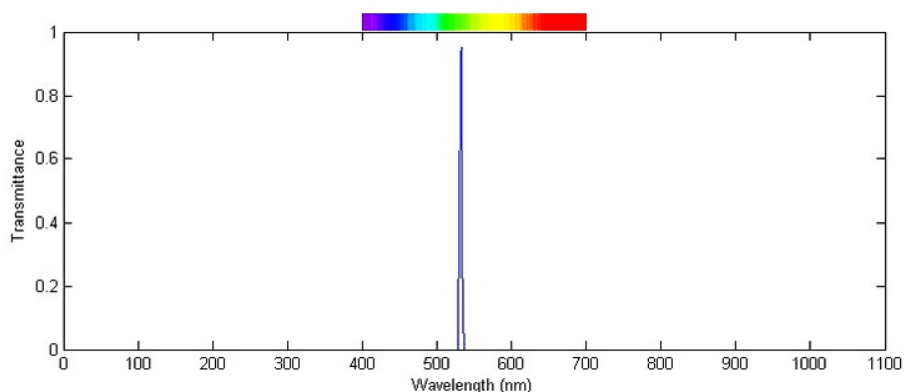
- Un filtre polaritzador està format per un material que absorbeix selectivament els camps que vibren perpendiculars a l'eix de transmissió. La llum natural vibra de manera aleatòria i canvia la direcció de vibració molt ràpid, mentre que la llum polaritzada és aquella en què el camp elèctric vibra d'una manera previsible i determinada respecte a la direcció de propagació. Quan fem passar la llum natural a través d'un filtre polaritzador, aquest absorbeix la component que vibra perpendicular i

només transmet la que vibra paral·lela a la orientació (**Figura 23**). Per què això es compleixi al 100% la llum ha d'incidir en un angle determinat de manera que la tangent d'aquest sigui igual a l'índex de refracció del material, aquest angle s'anomena angle de Brewster. Aquests filtres no alteren la tonalitat sinó que redueixen la intensitat, com els filtres de densitat neutre però en major proporció.



**Figura 23.** Corba transmissió d'un filtre polaritzador

- Els filtres de banda es caracteritzen per tenir capacitat d'absorció en una zona de l'espectre i transmissió en les altres (**Figura 24**), es fan servir normalment en el visible i part de l'infraroig més pròxim.



**Figura 24.** Corba de transmissió d'un filtre de banda, només transmet en la zona verda de l'espectre visible

### 3.3. Filtres especials per a patologies

Quan se situa un filtre davant de l'ull l'agudesia visual queda alterada, de manera que si l'elecció és idònia aquesta millorarà però, si es tracta del cas contrari, provocarà una disminució. Cal tenir en compte en la decisió el to de la lent i la lluminositat de l'ambient on serà utilitzat, doncs un to fosc en una zona d'il·luminació baixa provocarà un empitjorament marcat de l'agudesia visual i un to clar en un ambient molt il·luminat no aconsegueix una millora.

En algunes patologies l'ús d'un filtre que augmenta el contrast de la imatge és molt recomanable. Per exemple, els filtres amb tall en el groc milloren el contrast i van bé per a la DMAE, les cataractes, l'atrofia del nervi òptic i per al glaucoma. Els filtres de tall vermell són una bona opció per a ambliopies, la DMAE, l'atrofia del nervi òptic o la retinosi pigmentària. I els filtres marrons amb base groga són recomanats per a la retinosi pigmentària, la retinopatia diabètica i l'albinisme.

### 3.4. Filtres per a la llum blava

Els dispositius electrònics que han sortit al mercat en els últims 5 anys ja porten incorporada una funció que disminueix la llum blava que emeten. L'usuari pot configurar l'inici i la duració d'aquesta funció, evitant així possibles problemes d'insomni o alteracions del ritme circadiari. Per exemple, el sistema operatiu Windows (a partir de la versió 10) conté l'opció *Luz nocturna*, Apple Inc. ha desenvolupat el *Night Shift*, i en dispositius Android, a partir de la versió 7.0-*Nougat*, s'anomena *Night Mode*. Prèviament a alguns dels softwares inclosos en les actualitzacions dels sistemes, ja es comencen a desenvolupar aplicacions (també conegudes com a *apps*) per a ordinadors, tauletes i mòbils que alteren el color de la pantalla reduint les tonalitats blaves-violetes i substituint-les per a grocs-ataronjats.

També existeix un protector de pantalles desenvolupat a la *Universidad Complutense de Madrid*, anomenat *Reticare*, dissenyat per a absorbir la llum blava que emeten els dispositius electrònics. Consisteix en una làmina groga que es posa sobre la pantalla, amb opcions de diferent grau d'absorció del blau.

A mida que es coneix que els LEDs tenen un pic d'emissió en la llum blava, i es va estudiant els efectes d'aquesta sobre l'organisme, els diferents fabricants de lents oftàlmiques desenvolupen tractaments que bloquegen part d'aquesta radiació. Essilor Internacional treballa amb un filtre anomenat Cristal Prevencia, Hoya Corporation amb el *Blue Control*, INDO amb el tractament anomenat *Energy* i Indústries d'Òptica Prats amb el CSR, que són les inicials de la Dra. Celia Sánchez Ramos a nom de qui va la patent i que també atorga a les lents el "Certificat de Seguretat Retiniana".

Actualment, només hi ha dues cases comercials que fabriquen lents de contacte amb el filtre d'absorció de llum blava: Mark'ennovy i Servilens.

## 4. Estudi aplicat a les lents oftàlmiques

L'any 2016 a la Universitat Politècnica de Catalunya es va dur a terme un estudi publicat amb el títol "*Radiancia espectral de lentes oftálmicas con filtros de luz azul*" (Fernández, Argilés, Pérez-Cabré, & Cardona, 2016), en el que es van analitzar els filtres selectius de llum blava aplicats en lents oftàlmiques que ofereixen 4 fabricants: Essilor Internacional, Hoya Corporation, INDO i Indústries d'Òptica Prats.

Per aquest estudi es va utilitzar un iPad mini com a font de llum i les lents oftàlmiques dels diferents fabricants. Es va realitzar tant una comparació entre els diferents filtres selectius que hi havia al mercat, com una comparació dins del catàleg de cada fabricant entre les lents amb tractament antireflectant i les lents amb filtre selectiu.

Les mesures es van realitzar situant la part convexa de la lent tocant la pantalla (tot i que no afectava als resultats cap a on estigués disposada la curvatura de la lent) de manera que quedés el més semblant a com estarien col·locades quan es trobessin muntades en una ullera.

Si bé totes les lents comercialitzades absorben una part de les  $\lambda$  curtes de l'espectre visible, no totes ho feien amb el mateix percentatge. Les lents de Essilor eren les més eficaces (bloquejaven un 17,42%), seguides de Prats (14,17%), Hoya (7,05%) i finalment Indo (2,93%).

## 5. Lents de contacte

En el mercat trobem diferents lents de contacte que podem classificar segons si són lents de prescripció, lents estètiques o lents de protecció.

Dins de les lents de prescripció diferenciem les lents esfèriques, les quals corregeixen la miopia o la hipermetropia, les lents tòriques o astigmàtiques - que poden ser de cilindre pur o de esfera amb cilindre- i les lents per a la presbícia, que poden ser de visió simultània<sup>11</sup> o utilitzar la tècnica de la monovisió<sup>12</sup>. La **Taula 3** mostra els resultats obtinguts en un estudi realitzat l'any 2017 a Espanya, que classifica les adaptacions segons el disseny de la lent **Fuente especificada no válida**.

Disseny	% d'adaptacions
Esfèriques	55%
Tòriques	27%
Presbícia (Visió simultània /Monovisió)	17% (60%/17%)
Cosmètiques	1%

**Taula 3.** Adaptacions realitzades a Espanya l'any 2017 segons el disseny de la lent de contacte.

Les lents cosmètiques són lents amb un anell de lleugera coloració que cobreix l'iris. Poden ser de fantasia o bé de colors naturals (**Figura 25**) i s'utilitzen tant per estètica com per a dissimular determinats defectes en l'iris com en el cas de colobomes lleugers o en anisocòries. Algunes d'aquestes lents poden ésser també de prescripció esfèrica.

Dins de les lents de protecció trobem les lents prostètiques (**Figura 26**), que són especials per a ulls amb patologies que afecten l'iris o el cristal·lí – que poden provocar enlluernaments molestos o fotofòbia - com són el leucoma, l'afàquia pediàtrica, l'anirídia, el coloboma, l'albinisme o les cataractes congènites. També són utilitzades per a còrnies irregulars - ja sigui per causa post-quirúrgica o per

<sup>11</sup> Focalitzen diferents imatges a la retina, localitzant una distància diferent en el centre de la lentilla respecte a la perifèria.

<sup>12</sup> Utilitza un ull per a visió de lluny i l'altre per a la visió de prop.

traumatisme- o com a tractament farmacològic, alliberant fàrmacs tòpics de manera retardada.

Trobem en el mercat un tipus de lents de contacte que encara no tenen una classificació concreta, aquestes són lents de colors amb filtres selectius, que absorbeixen o transmeten certes longituds d'ona. Algunes són utilitzades per esportistes ja que tenen la capacitat de realçar certs colors (**Figura 27**) o per persones que tenen una deficiència en la visió cromàtica. La majoria d'aquestes lents de contacte tenen una protecció a l'ultraviolat, altres són utilitzades com a filtres per a radiacions perjudicials, com les que contenen un filtre selectiu a la llum blava (actualment només dues cases comercials treballen amb aquests tipus de lents).



**Figura 27.** Lents de contacte cosmètiques



**Figura 25.** Lents de contacte prostètiques



**Figura 26.** Lents de contacte per a esportistes, MAXSIGHT de Bausch & Lomb

## 6. Estudi realitzat al laboratori

### 6.1. Objectius

Els objectius del treball eren:

- Verificar que en l'espectre electromagnètic emès per un dispositiu electrònic amb *backlight* existeix un pic en el blau.
- Comparar entre les lents de contacte amb i sense filtre selectiu de la llum blava d'una mateixa casa comercial per determinar quin percentatge d'aquesta absorbeix el filtre.
- Comparar les lents de contacte amb el filtre selectiu de llum blava entre dues cases comercials, avaluant la seva efectivitat.
- Participar en la realització de mesures al laboratori, analitzar els resultats i extreure conclusions.

Després de la recerca bibliogràfica realitzada volem comprovar si la nostra hipòtesi és correcta: les lents de contacte amb filtre selectiu bloquegen un cert percentatge de la llum blava que emeten les pantalles dels dispositius electrònics.

### 6.2. Metodologia

#### 6.2.1. Material:

#### 6.2.2. *Telèfon mòbil*

Per a comprovar quina il·luminació emet una pantalla *backlight* es va utilitzar un telèfon mòbil Huawei P8 Lite amb una pantalla LCD. Durant les mesures vam apagar els llums del laboratori i el telèfon estava endollat (per assegurar que no variaria la il·luminació al llarg del temps), amb la il·luminació al màxim i amb una imatge, que ocupava tota la pantalla, completament blanca. Com s'ha explicat prèviament, la llum blanca en les pantalles LCD està composta per als 3 colors RGB, però a ull nu es percep com a un únic color.

Aquesta font de llum va ser utilitzada per a totes les mesures, i per a conèixer exactament quina radiació absorbia cada una de les lents o els portaobjectes



amb els que les subjectàvem vam utilitzar com a referència la mesura realitzada únicament al telèfon.

### 6.2.3. Espectroradiòmetre

Les corbes analitzades en aquest treball, van ser obtingudes amb l'espectroradiòmetre “*Photo Research® PR-705/715 Spectrascan® Systems*”, aquest aparell mesura un rang de longituds d'ona d'entre 380nm a 1068nm amb una precisió espectral de  $\pm 4\text{nm}$  i té una resolució digital de 16 bits.

El muntatge que vam disposar es pot observar en la **Figura 28**. Vam col·locar el telèfon mòbil sobre un suport que el deixava paral·lel al sensor de l'espectroradiòmetre, de manera que fos fàcil realitzar les mesures. A sobre de la pantalla col·locàvem dos portaobjectes que aguantaven la lent de contacte de mostra al mig.



**Figura 28.** Espectroradiòmetre i muntatge al laboratori per a fer les mesures

Gràcies al Software SpectraWin® incorporat en l'espectroradiòmetre podíem obtenir els gràfics de radiància, les dades de luminància i radiància de la font de llum, la temperatura de color correlacionada i les coordenades cromàtiques.

### *Lents de contacte:*

Es van seleccionar aquestes lents de contacte perquè en aquell moment eren les úniques al mercat que complien la condició, és a dir, tenien un filtre per a bloquejar la llum blava dins de l'espectre visible. Es van demanar als fabricants com a lents de prova, i es va contactar amb Mark'ennovy per a saber quines lents dins del seu catàleg eren equivalents a les lents amb filtre blau.

En la **Figura 29** i en al **Figura 30** es mostren les diferents lents de contacte amb i sense filtre d'absorbència de la llum blava que vam utilitzar per a realitzar l'estudi, classificades segons la casa que les comercialitza.



**Figura 29.** Vista frontal i posterior dels blisters amb les lents de contacte de Servilens: Lens55 i Lens 55 CSR (amb filtre selectiu)



**Figura 30.** Vista frontal i posterior dels blisters amb les lents de contacte de Mark'ennovy: Saphir Rx Sph i Blu:ssential Sph (amb filtre selectiu)

Per tal de poder fer una comparació el més fiable possible entre les dues cases, es va demanar les lents amb- les especificacions semblants (**Taula 4**) de radi, potència, diàmetre, contingut en aigua, etc.

	<b>Lens 55 ®</b>	<b>Lens 55 CSR ®</b>	<b>Saphir Rx Sph</b>	<b>Blu:ssentials Sph</b>
<b>Potència (D)</b>	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00
<b>Diàmetre (mm)</b>	14.20	14.20	14.50	14.50
<b>Radi (mm)</b>	8.60	8.60	8.60	8.60
<b>Material i % d'hidratació</b>	Hidrogel de Silicona 55% H <sub>2</sub> O	Hidrogel de Silicona 55% H <sub>2</sub> O	Hidrogel de Silicona 75% H <sub>2</sub> O	Hidrogel de Silicona 75% H <sub>2</sub> O

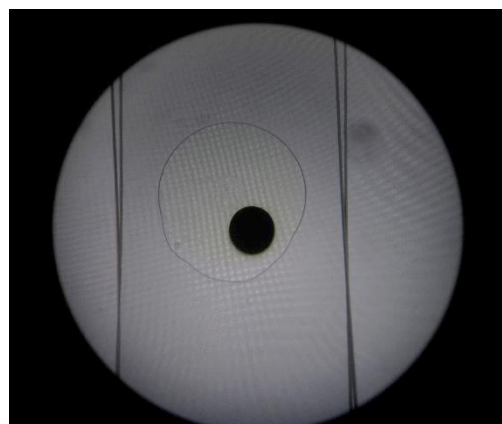
**Taula 4.** Especificacions de cada una de les mostres de l'anàlisi

#### 6.2.4. Procediment de mesura

Es van realitzar dues mesures de cada mostra per tal de veure la repetitivitat de les mesures i d'obtenir resultats fiables. Primer es va fer la mesura de les mostres de Servilens, la lent L55 i després la Lens 55 CSR (**Figura 31**), i altre cop es van realitzar en aquest ordre. Després es va procedir amb les de Mark'ennovy, primer la Saphir i seguidament la Blu:ssential (**Figura 32**), i es van repetir. Les mesures realitzades de la emissió de pantalla sola i de la pantalla amb dos portaobjectes situats davant de la pantalla van realitzar al principi i al final les mesures per tal d'assegurar que els valors de radiància màxims no variaven amb el temps o el nivell de bateria.



**Figura 32.** Lens 55 CSR situada en mig de dos portaobjectes vista a través de l'espectroradiòmetre



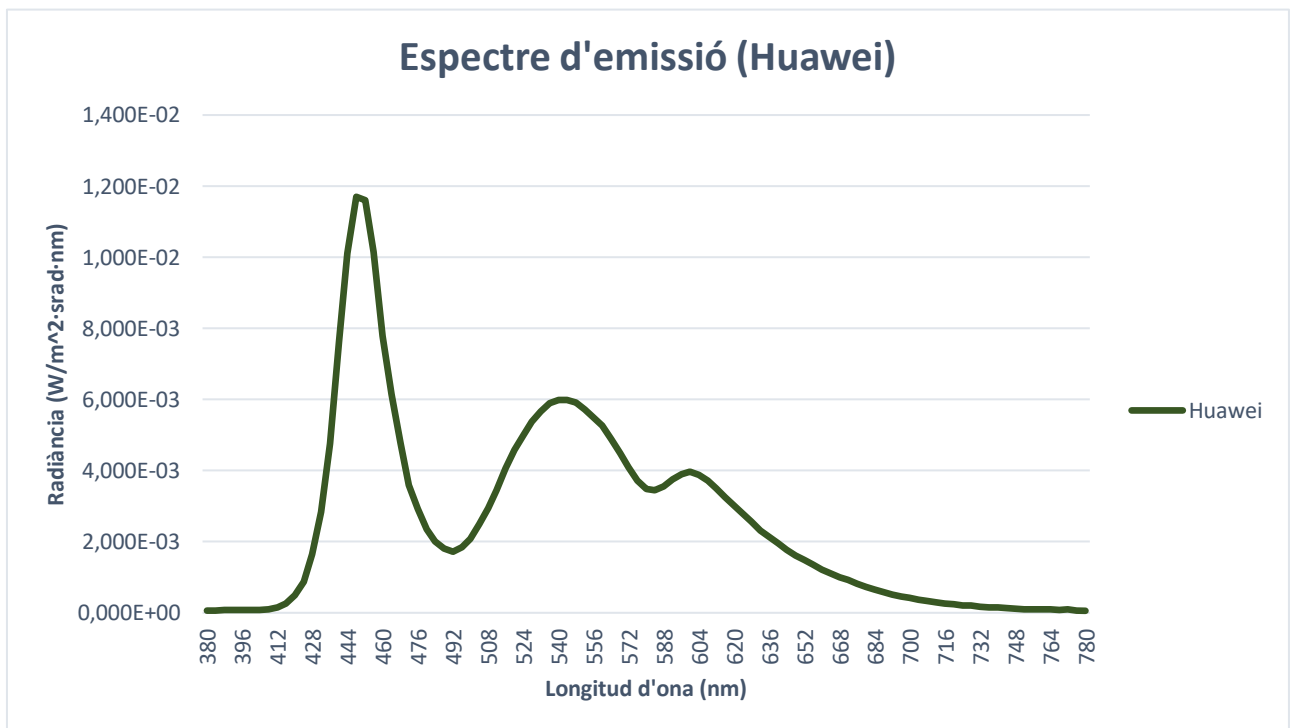
**Figura 31.** Blu:ssential situada en mig de dos portaobjectes vista a través de l'espectroradiòmetre

### 6.3. Resultats

#### 6.3.1. Telèfon mòbil Huawei

Del rang de mesures proporcionades per l'espectroradiòmetre, es van analitzar aquelles dins de l'espectre visible, i representar-les en forma de gràfic per tal de fer més fàcil la interpretació dels resultats. Es va poder conèixer el percentatge de llum blava emesa pel dispositiu electrònic i el percentatge de llum absorbida per cada lent de contacte realitzant un anàlisi de les dades obtingudes.

En la corba de radiància obtinguda del telèfon mòbil (**Gràfic 1**) s'observa un pic amb un màxim absolut de  $1,170 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$  a 448 nm, es a dir llum blava, ja que es tracta d'un dispositiu amb *backlight* de tipus LED, i per tant es compleix el que s'ha comentat anteriorment respecte les emissions espectrals dels dispositius LED quan es tracta de llum blanca.



**Gràfic 1.** Corba de radiància espectral del telèfon mòbil amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim

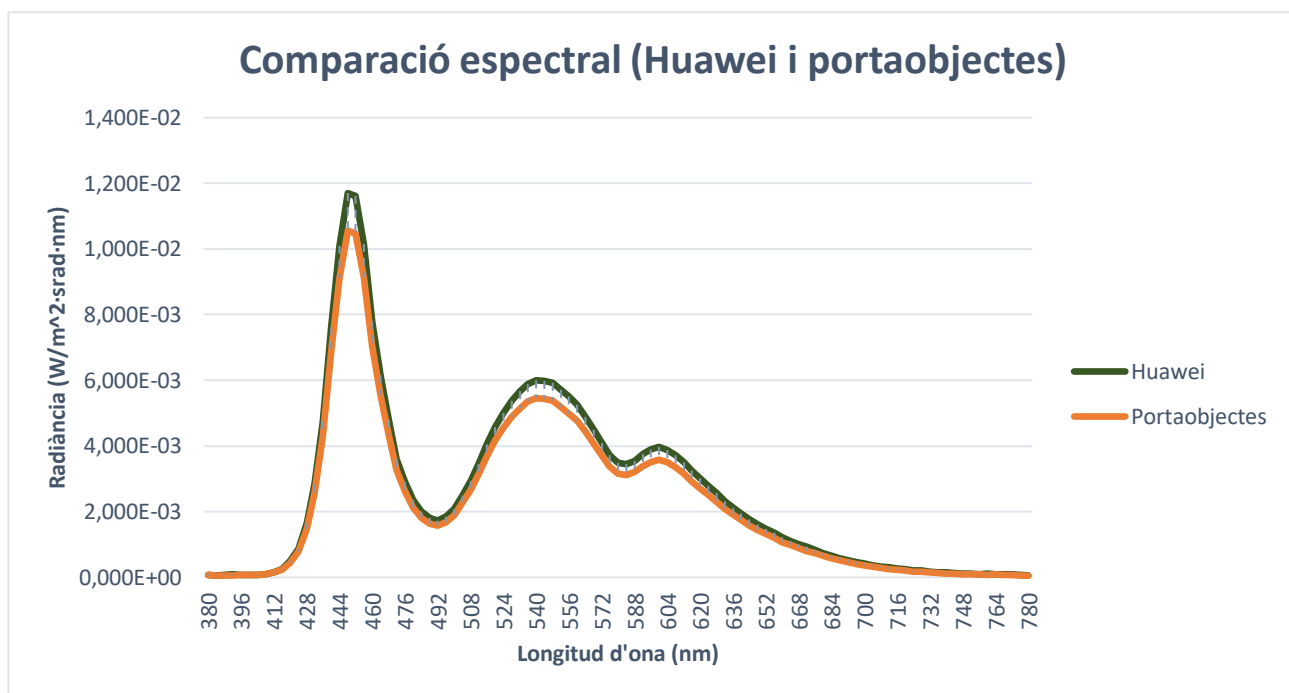
La radiància va disminuint al llarg de l'espectre visible fins a arribar a un mínim relatiu de la corba, de  $1,726 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$  a 492 nm, que equival al color verd-turquesa. Després torna a augmentar el valor de radiància i trobem dos màxims relatius, a 540 nm ( $5,993 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$ ) i a 600 nm ( $3,970 \cdot 10^{-3}$

$\text{W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$ ), que equivalen al color verd i al color groc-ataronjat. Apareix un mínim relatiu en la zona de l'espectre equivalent al color groc,  $584 \text{ nm}$  ( $3,44 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$ ), i el mínim absolut es troba en la zona del vermell a  $780 \text{ nm}$  ( $5,677 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \text{nm}$ ), molt pròxim a l'espectre infraroig.

Podem afirmar que els dos màxims relatius que trobem en el gràfic equivalen a la radiància emesa pels LEDs verd i vermell, tot i què aquesta és menor a la dels blaus.

### 6.3.2. Telèfon mòbil amb portaobjectes

En el **Gràfic 2** s'observa la radiància emesa pel mòbil i la radiància que transmet el mòbil a través de dos portaobjectes superposats a la pantalla. Comprovem que l'efecte dels dos vidres portaobjectes és absorbir lleugerament la energia emesa per la pantalla, de manera que la corba de radiància espectral queda quasi inalterada. S'observa una disminució de la radiància al llarg de tota la corba, essent més pronunciada al voltant dels pics màxims en el blau, verd i vermell. Aquest efecte coincideix amb l'absorció inevitable que es produeix al



**Gràfic 2.** Comparació de la corba de radiància espectral dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil i la corba del telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim).

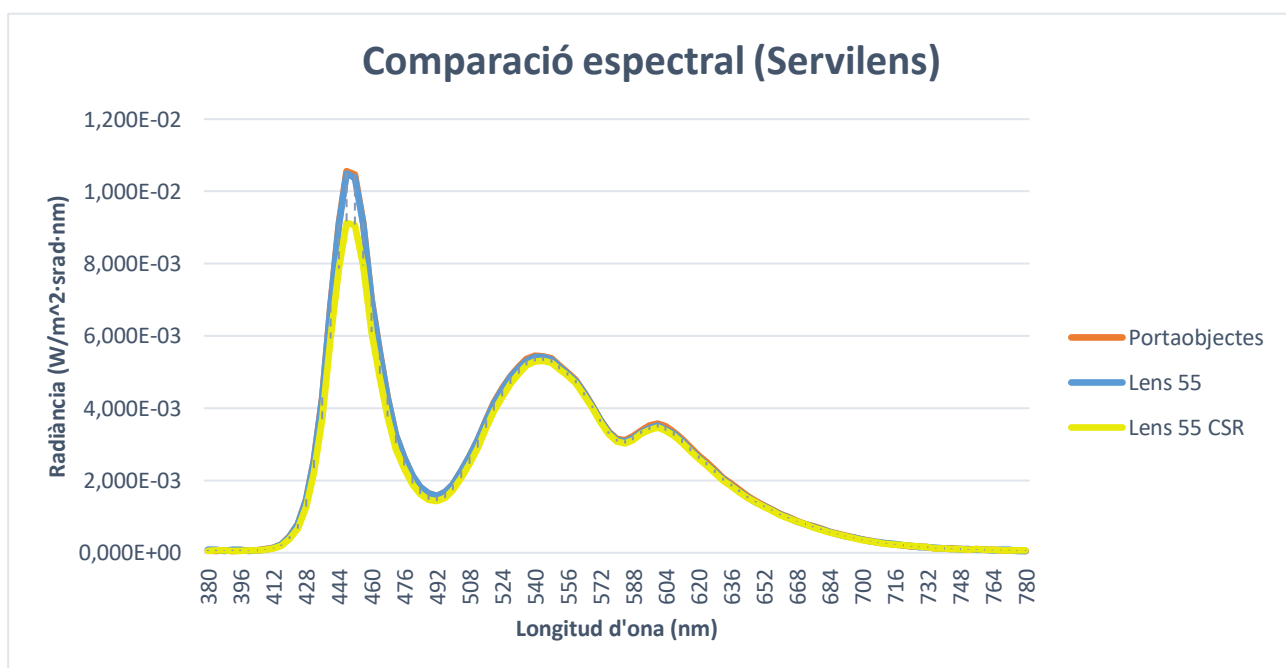
incidir la radiació en un material dielèctric com el vidre. Aquesta corba, la que inclou l'absorció dels dos vidres portaobjectes, serà la de referència a partir de la que realitzarem les comparacions entre les lents de contacte, ja que totes les mesures les vam realitzar amb dos portaobjectes que subjectaven les lents.

### 6.3.3. Comparació entre lents de contacte d'una mateixa casa comercial

#### 6.3.3.1. Servilens

El següent pas va ser representar la radiància transmesa per la font de llum a través dels portaobjectes amb la radiància transmesa a través de la lents de contacte de Servilens, en un mateix gràfic (**Gràfic 3**).

Les corbes obtingudes tenen el mateix perfil, ja que es tracta de la mateixa font de llum i les lents de contacte no alteren la composició de l'espectre però si varien el valor de la radiància.



**Gràfic 3.** Comparació de la corba de radiància espectral de les diferents lents de Servilens i la corba dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim).

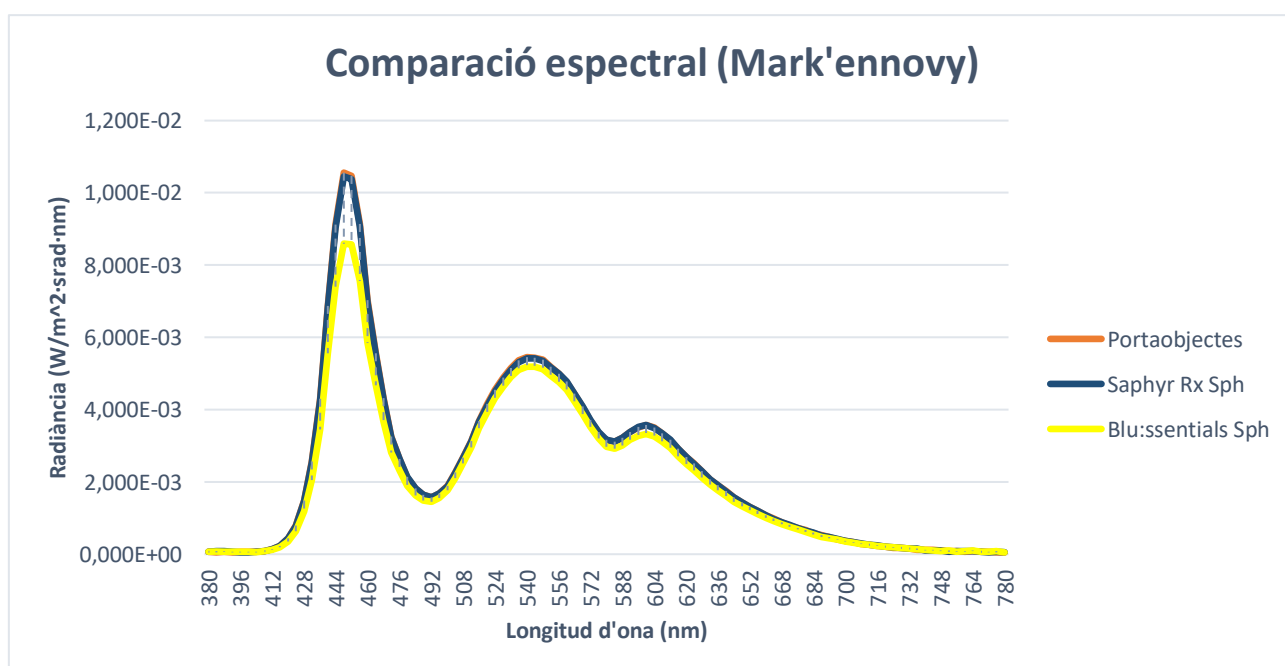
En el cas de la Lens 55, la qual el fabricant especifica que bloqueja la llum UVA, observem uns valors de radiància quasi iguals en el màxim absolut als obtinguts únicament amb els portaobjectes sobre la font de llum (essent aquests un 1% menors). Per contra, a la corba de la lent Lens 55 CSR® existeix una disminució del 14% de radiància en el màxim absolut que trobem a 448 nm. Per tant, podem concloure que entre les lents que fabrica Servilens, existeix una diferència de transmissió en els blaus entre les lents amb i sense tractament del 13%.

Si comparem els resultats obtinguts amb els de l'estudi de lents oftàlmiques amb filtre blau, la dada d'absorció obtinguda pel filtre CSR coincideix amb la d'absorció de les lents de Prats (14,7%), que inclouen el mateix filtre CSR de Celia Sánchez Ramos.

#### 6.3.3.2. Mark'ennovy

Vam representar gràficament la radiància en el cas de les lents de la casa comercial Mark'ennovy i les vam comparar amb la radiància que transmetia el mòbil a través dels portaobjectes en el **Gràfic 4**.

En la corba espectral que representa la lent de contacte Saphir Rx Sph la variació respecte la corba dels portaobjectes és pràcticament imperceptible: en el pic de la llum blava és únicament un 1% menor.

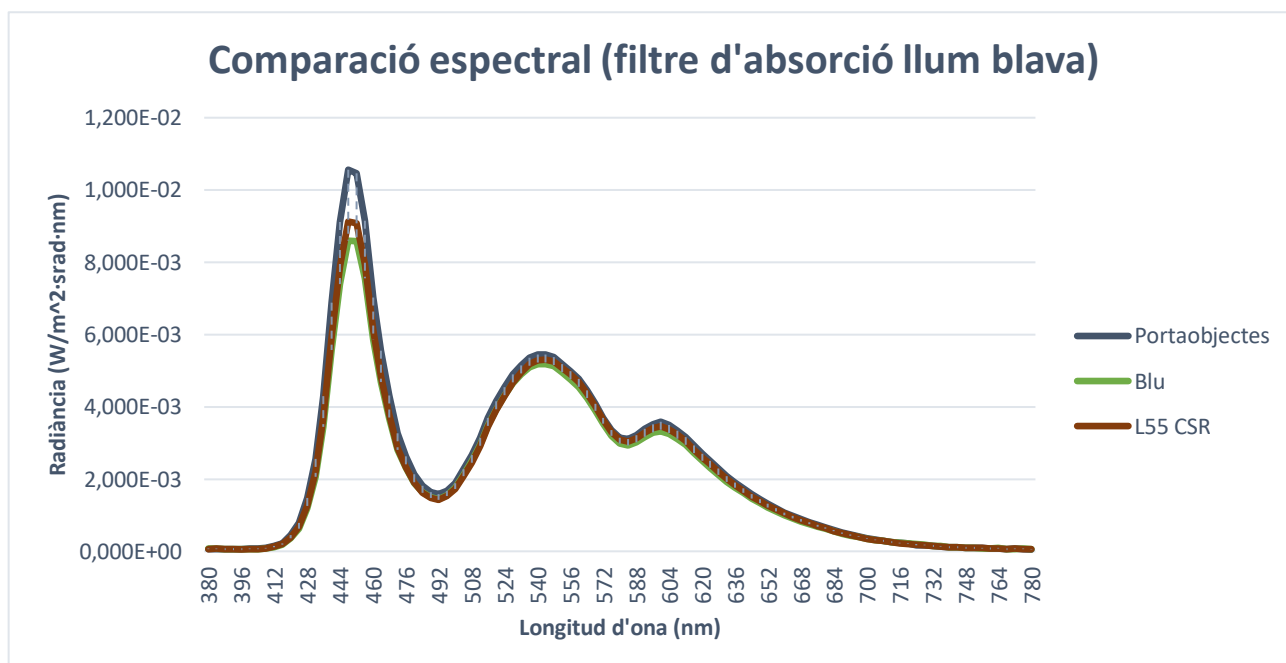


**Gràfic 4.** Comparació de la corba de radiància espectral de les diferents lents de Mark'ennovy i la corba dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim).

En la comparació entre la corba espectral dels portaobjectes i la corba de la lent amb el filtre per a la llum blava (Blu:ssentials) existeix una diferència de radiància en el màxim absolut del 19%. Per tant podem afirmar que entre les lents que comercialitza Mark'ennovy existeix una diferència de transmissió en els blaus del 18%.

#### 6.3.4. Comparació entre lents de contacte amb filtre selectiu d'absorció de llum blava de diferents fabricants

Per últim, es va representar gràficament (**Gràfic 5**) les corbes de radiància al llarg de l'espectre visible de les dues lents, dels dos fabricants, amb filtre que bloqueja la llum blava i la corba que descriu el mòbil quan té superposat dos portaobjectes.



**Gràfic 5.** Comparació de la corba de radiància espectral de les diferents amb filtre selectiu d'absorció de la llum blava i la corba dels portaobjectes superposats al telèfon mòbil (ambdós amb una imatge blanca i la il·luminació al màxim).



Observem que en el cas de les dues lents estudiades amb filtre blau, redueixen la radiància espectral únicament en la zona dels blaus. La lent comercialitzada per Mark'ennovy absorbeix més quantitat (19%) que la lent del fabricant Servilens (14%). De manera que la lent de Mark'ennovy absorbeix un 5% més que la lent equivalent de Servilens.

Els percentatges d'absorbància de cada lent analitzada es troben resumits a la **Taula 5**, on estan classificades les lents de contacte segons la casa comercial i la protecció que ofereixen respecte a la llum blava emesa pel dispositiu electrònic.

<b>Casa Comercial</b>	<b>Lent de contacte</b>	<b>% Absorbància en els blaus</b>
Servilens	Lens ® 55	1%
Servilens	Lens 55 CSR ®	14%
Mark'ennovy	Saphir Rx Sph	1%
Mark'ennovy	Blu:ssentials Sph	19%

**Taula 5.** Percentatges d'absorbància en la zona dels blaus de cada mostra

Es pot observar com en les lents sense filtre no es produeix pràcticament cap variació respecte a la radiància que els arriba, mentre que a les lents comercialitzades com d'absorbància selectiva dels blaus s'observa una disminució, de valors diferents depenent del fabricant.

Si es compara la coloració groguenca les lents de mostra amb els resultats obtinguts, es pot concloure que com més fosca és la tonalitat de les lents de contacte, més elevat és el percentatge d'absorbància del color complementari, és a dir, les lents amb filtre blau adquireixen una tonalitat groguenca.

## 6.4. Conclusions

Un cop finalitzat tant l'estudi bibliogràfic com l'estudi realitzat en el laboratori podem afirmar que:

- Les pantalles retroil·luminades basades en una font d'il·luminació LED tenen un màxim d'emissió en la zona dels blaus dins de l'espectre visible, tal i com esperàvem i com han reportat treballs anteriors.
- En l'experiment realitzat, on les lents de contacte s'han aguantat mitjançant l'ús de dos vidres portaobjectes, s'ha observat que els vides són els responsables d'absorbir part de la llum emesa per la pantalla del mòbil, mentre que les lents sense filtre, pràcticament transmeten la totalitat de la llum que reben dins de l'espectre visible.
- Les lents de contacte amb un filtre selectiu aconsegueixen bloquejar part de la llum blava, com és el seu objectiu inicial. El percentatge de la seva llum absorbida però, depèn del filtre utilitzar per cada fabricant, essent del ordre del 14% en el cas de Servilens i del 19% en Mark'ennovy.
- El filtre CSR utilitzat per les lents de contacte de Servilens i el filtre CSR utilitzat per les lents oftàlmiques de Prats, tenen un mateix nivell d'absorbància de la llum blava, coincidint en un valor del 14% de la llum rebuda.
- Alguns estudis han investigat sobre l'ús dels filtres, tant per a evitar alteracions del ritme circadiari com per alentir la progressió de la DMAE, però conclouen que l'ús preventiu no implica la no aparició d'aquesta patologia. No s'ha pogut demostrar que la llum blava, que altera la composició de la retina, sigui un dels causants de l'aparició de la DMAE ja que costa recrear les condicions en un laboratori i els estudis longitudinals requereixen d'un llarg període de temps, que encara no s'ha pogut abastar.

- A l'igual que en els estudis realitzats amb les lents oftàlmiques amb filtres blaus, les lents de contacte que incorporen aquests filtres adquireixen una coloració groguenca (color complementari del filtre blau), de forma més o menys intensa segons els percentatge d'absorbància del filtre.

Actualment se sap que l'exposició a la llum blava és perjudicial però encara no s'ha arribat a determinar quina és la quantitat ni la duració exacta a la que podem estar exposats sense que resulti perjudicial per a l'organisme. És molt rellevant delimitar aquests aspectes donat que cada vegada trobem més els dispositius amb il·luminació LED en la societat moderna.

## Treballs citats

- Arora, S., Fergason, J., & Saupe, A. (1970). Two Liquid Crystal Phases with Nematic Morphology in Laterally Substituted Phenylenediamine Derivatives. *Molecular Crystals & Liquid Crystals*, 243-257.
- Behar-Cohen, F., Martinsons, C., Viénot, F., Zissis, G., Barlier-Salsi, A., Cesarini, J. P., . . . Attia, D. (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? *Elsevier*, 239-257.
- Chamorro, E., Bonnin-Artias, C., Pérez-Carrasco, M. J., Muñoz de Luna, J., Vázquez, D., & Sánchez-Ramos, C. (2013). Effects of Light-emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelia Cells In Vitro. *Photochemistry and Photobiology*, 468-473.
- Fernández, C., Argilés, M., Pérez-Cabré, E., & Cardona, G. (2016). Radiancia espectral de lentes oftálmicas con filtros de luz azul. *Óptica pura y aplicada*, 165-172.
- Hye Oh, J., Yoo, H., Keun Park, H., & Rag Do, Y. (2015). Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night. *Scientific Reports*. doi:10.1038/srep11325
- J. K. Sheu, S. J. (2003, JANUARY). Withe-Light Emission From Near UV InGaN-GaN LED chip Precoated Withh Blue/Green/Red Phosphors. 15(1).
- Marín, A., Pfeiffer, N., & Travesset, A. (2009). *Física 2 batxillerat*. Barcelona: Casals.
- Sánchez-Ramos Roda, C. (2010). *Tesis Doctoral. Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: Experimentación animal*. Madrid.
- Sánchez-Ramos, C., Vega, J., del Valle, M., Fernandez-Balbuena, A., Bonnin-Arias, C., & Benitez-del Castillo, J. (2010). Role of metalloproteases in retinal degeneration induced by violet and blue light. *Advances in Experimental Medecine and Biology*, 159-164.
- Tosini, G., Ferguson, I., & Tsubota, K. (2016). Effects of blue light on the circadian system and eyey physiology. *Molecular vision*, 61-72.

- Urtubia Vicario, C. (1999). *Neurobiología de la visión*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Villegas-Pérez, M. (2005). Exposición a la luz, lipofuscina y degeneración. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 565-567.
- Yanoff, M., & Duker, J. S. (2009). *Ophthalmology, International Edition: Edition 5*. St. Louis: Elsevier.
- Yu-Kang Lo, M. K.-H.-J.-J. (2009, December). Design and Implementation of RGB LED Drivers for LCD Backlight Modules. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 56(12).

## Altres fonts bibliogràfiques de consulta

- La capa de ozono se recupera gracias a la reducción de los gases contaminantes*. (Diciembre de 2018). Obtenido de 20 minutos: <https://www.20minutos.es/noticia/3483550/0/capa-ozono-recupera-reducir-gases-contaminantes/>
- Certificado CSR*. (Diciembre de 2018). Obtenido de [http://www.certificadocsr.com/certificado-csr/espanol/portada\\_4\\_1\\_ap.html](http://www.certificadocsr.com/certificado-csr/espanol/portada_4_1_ap.html)
- Chang, S., Sheu, J., Kuo, C., Su, Y., Wu, L., Lin, Y., . . . Wu, R. (2003, JANUARY). Withe-Light Emission From Near UV InGaN-GaN LED chip Precoated Withh Blue/Green/Red Phosphors. *15*(1), 18-20.
- Institut d'Estudis Catalans. (Novembre / 2018). *Diccionari de la llengua catalana. Segona edició*. Consultat el 21 / 11 / 2018, a <https://mdlc.iec.cat/results.asp?txtEntrada=radiaci%F3&operEntrada=0>
- Martinsons, C. (2013). Light Emitting Diodes (LEDs) and the blue light risks. *Points de Vue. International Review of Ophthalmic Optics*(68).
- Millán, M. S., Escofet, J., & Pérez, E. (2009). *Óptica geométrica*. Barcelona: Ariel.

Nussenzveig, H. M. (2010). *Curso de Física básica – vol. 4. Ótica, Relatividade, Física Quântica*. São Paulo Brasil: Editora Edgard Blücher Ltda.

*Preguntas más frecuentes*. (Noviembre de 2018). Obtenido de Philips: [http://www.lighting.philips.com.mx/soporte/soporte/preguntas-frecuentes#lamparas\\_intercambiables](http://www.lighting.philips.com.mx/soporte/soporte/preguntas-frecuentes#lamparas_intercambiables)

Salvadó, J., & Fransoy, M. (2001). *Tecnología óptica. Lentes oftálmicas, diseño y adaptación*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Santodomingo, J., Villa, C., & Morgan, P. (2018). Lentes de contacto adaptadas en España en 2017: comparación con otros países. *Gaceta óptica*, 42-50.

*The Nobel Prize*. (Noviembre de 2018). Obtenido de <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/press-release/>

*What is twisted nematic (TN) display technology?* (Noviembre de 2018). Obtenido de Samsung: <https://www.samsung.com/in/support/tv-audio-video/what-is-twisted-nematic-tn-display-technology/>

## Bibliografia figures

Figura 1. *La luz*. En línea [Consulta Diciembre 2018]. Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Luz#/media/File:Onde\\_electromagnetique.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Luz#/media/File:Onde_electromagnetique.svg)

Figura 2. *Electromagnetic spectrum*. En línea [Consulta Diciembre 2018]. Disponible: [https://sites.google.com/site/chempendix/\\_/rsrc/1472843490283/em-spectrum/SL\\_EMspectrum.jpg](https://sites.google.com/site/chempendix/_/rsrc/1472843490283/em-spectrum/SL_EMspectrum.jpg)

Figura 3. *Reloj alarma calendario i HP pantalla LCD*. En línea [Consulta Diciembre 2018]. Disponible: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51N27eQ4M2L\\_SX466.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51N27eQ4M2L_SX466.jpg) i <https://i.ebayimg.com/images/g/uD4AAOSwT6pViDfg/s-l640.jpg>

Figura 4. *Verificação da Lei de Malus usando monitor LCD e fotografia digital*. En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v38n3//1806-1117-rbef-38-03-e3311-gf01.jpg>

Figura 5. *Liquid crystals*. En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <https://www.uni-ulm.de/fkp/lehre/gl5/ComKurs1/pict2/LCD.GIF>

Figura 6. *Guía para entender los televisores LED* En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: [http://lh3.ggpht.com/\\_92UU7zrbcwM/S6JWBei-AUI/AAAAAAAAABeA/eZMWTX7rPT0/5txxlc\\_thumb%5B4%5D.jpg?imgmax=800](http://lh3.ggpht.com/_92UU7zrbcwM/S6JWBei-AUI/AAAAAAAAABeA/eZMWTX7rPT0/5txxlc_thumb%5B4%5D.jpg?imgmax=800)

Figura 7. *Quantum dots unleash high-color-gamut performance in LED-backlit displays (MAGAZINE)*. En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: [https://www.ledsmagazine.com/content/dam/leds/migrated/objects/features/8/10/14/Nanosysbacklight\\_fig1.jpg](https://www.ledsmagazine.com/content/dam/leds/migrated/objects/features/8/10/14/Nanosysbacklight_fig1.jpg)

Figura 8. *Chapter 21: White light sources based on wavelength converters*. En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap21/F21-08%20Spectrum%20white%20P%20LED.jpg>

Figura 9. Urtubia Vicario, César (1996). *Neurobiología de la visión*. Barcelona, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya

Figura 10. Millán, M.S.; Escofet, J.; Pérez, E. (2011). *Óptica geométrica*. Barcelona: Ariel.

Figura 11. Gran Enciclopèdia Catalana. L'ull. En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <https://www.enciclopedia.cat/sites/default/files/media/FOTO/149058.jpg>

Figura 12. Triptic Aura Avizor

Figura 13. Urtubia Vicario, César (1996). *Neurobiología de la visión*. Barcelona, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 14. Remington, L.A (1998). *Clinical anatomy of the visual system*.- Butterworth-Heinemann. USA

Figura 15. *¿Por qué podemos ver mejor con luz que sin ella?* En línea 2014 [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <https://omicrono.lespanol.com/wp-content/uploads/2014/05/Rods.jpg>

Figura 16. *Macular Degeneration*. En línea [Consulta Desembre 2018]. Disponible: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/04/Intermediate\\_age\\_related\\_macular\\_degeneration.jpg/245px-Intermediate\\_age\\_related\\_macular\\_degeneration.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/04/Intermediate_age_related_macular_degeneration.jpg/245px-Intermediate_age_related_macular_degeneration.jpg)

Figura 17. *Age-Related Macular Degeneration: From One Medical Student to Another*. En línea [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <https://webeye.ophth.uiowa.edu/eyeforum/tutorials/AMD-medical-student/Figure5subrethemeCNVMwetOS.jpeg>

Figura 18. *Rejilla de Amsler: qué es y cómo usarla para detectar la degeneración macular*. En línea [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <https://longitudeonda.com/wp-content/uploads/2016/01/degeneracion-macular-que-es-como-se-trata.jpg>

Figura 19. *La glàndula pineal: el enigma de nuestra mente*. En línea [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <https://lamenteesmaravillosa.com/wp-content/uploads/2016/05/cerebro-con-la-glandula-pineal-senalada.jpg>

Figura 20. Urtubia Vicario, César (1996). *Neurobiología de la visión*. Barcelona, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya

Figura 21 Fotografia realitzada a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

Figura 22. Fotografia realitzada a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

Figura 23. *Polarization of light and verification of malus law SK045*. En línea. [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <http://www.indosawedu.com/images/Polarization-of-light-graph.jpg>

Figura 24. *Determinación de características geométricas de cordón en soldadura GMAW empleando procesamiento de imágenes*. En línea [Consulta Desembre 2018]. Disponible: [https://www.researchgate.net/profile/I\\_Lopez-Juarez/publication/299433412/figure/fig3/AS:391361145655299@14703191760](https://www.researchgate.net/profile/I_Lopez-Juarez/publication/299433412/figure/fig3/AS:391361145655299@14703191760)



[60/Figura-3-Transmitancia-del-filtro-pasa-banda-En-la-Figura-4-se-observa-el-resultado-de.png](#)

Figura 25. *Resonance social media. Gallery contact lenses. Alcon Freshlook Colorblend.* En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <http://resonancesocialmedia.com/wp-content/uploads/2018/10/alcon-freshlook-colorblend-turquoise-pure-hazel-colorbelnds.jpg>

Figura 26. *Meca Patología ocular.* En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible: <http://www.mecapatologiaocular.com/wp-content/uploads/2018/04/tipos-lentes-contacto.jpg>

Figura 27. *Nike maxsight contact lense i Nike maxsight tinted lenses.* En línia [Consulta Desembre 2018]. Disponible [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTUP\\_5mNF6x55YCfVhocWR9jbr9GxftwHSzKIALDrknEfWGugfJ](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTUP_5mNF6x55YCfVhocWR9jbr9GxftwHSzKIALDrknEfWGugfJ) i <https://i.pinimg.com/originals/91/cc/f5/91ccf5cc13ace833e395f34ae912daec.gif>

Figura 28. Fotografia realitzada a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

Figura 29. Fotografia realitzada a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

Figura 30. Fotografia realitzada a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

Figura 31. Fotografia realitzada a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

Figura 32. Fotografia realitzada a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

La luz aparentemente blanca está compuesta por bandas que las personas percibimos como colores. Algunas de estas bandas tienen excesiva energía para el elevado número de horas al que están expuestos nuestros ojos (18 h/día)

Por otro lado, el fondo del ojo humano, la retina, y en particular su mácula (mancha amarilla) es muy especial, está compuesta de neuronas que deben conservarse en buen estado toda la vida para mantener la visión. Poder ver es una de las facultades que más información del mundo exterior nos aporta (85%). Chequear, preservar, mejorar y optimizar la visión es el trabajo de los ópticos, de los optometristas, de los expertos en visión y de los médicos oftalmólogos.

Desde la Universidad Complutense (UCM) se han desarrollado en los últimos 15 años investigaciones científicas al más alto nivel internacional con la colaboración de instituciones públicas y privadas, nacionales e internacionales. Con ellas se ha conseguido demostrar que eliminando por bloqueo (absorción) la banda de luz que el ojo percibe como violeta, muy cerca del ultravioleta, se reducen los daños que la luz puede producir en las neuronas del fondo del ojo.

Estas investigaciones, en colaboración con fabricantes de lentes de contacto y sus soluciones de mantenimiento, de lentes oftálmicas y de films protectores, han permitido desarrollar en España elementos ópticos de protección que disminuyen la incidencia de luz tóxica sobre los ojos.

Sin alarmar pero actuando de forma responsable los investigadores de la UCM y los fabricantes y comercializadores de productos, mediante acuerdos entre Universidad-Empresa, han conseguido poner al alcance de la sociedad productos para consumo nacional y de exportación, que colaboran con el fin último de la Universidad Complutense, en esta área: realizar acciones contra la ceguera evitable.

## Annexos

### Annex A. Trítpic Avizor

**Celia Sánchez Ramos** es Doctora en Medicina Preventiva y Salud Pública por la Universidad Complutense (UCM) y Doctora en Ciencias de la Visión por la Universidad Europea. Licenciada en Farmacia y Diplomada en Óptica y Optometría.

Es profesora de Percepción Visual, Óptica Fisiológica y Tecnología Óptica en la UCM desde 1986.

Es fundadora del Laboratorio de Neuro-Computación y Neuro-Robótica. Desde hace 26 años lidera Proyectos de Investigación Institucionales y Privados, nacionales e internacionales. Sus investigaciones se centran en el campo de la neurodegeneración, prevención y protección del sistema visual y el procesamiento de la señal visual.

Ha desarrollado un filtro óptico de absorción selectiva (amarillo) y su incorporación a las lentes de contacto para la protección de la visión.

El sello CSR es la certificación de que el producto cumple con los requerimientos necesarios para realizar la doble función de compensar ametropías y proteger el sistema visual. Los productos CSR son los únicos testados, visados y certificados para su uso con el filtro óptico (amarillo). El sello CSR es garantía de calidad y certifica los productos aprobados por la Universidad Complutense (Dra. Celia Sánchez-Ramos).

**PRIMERA LENTE DE CONTACTO QUE PROTEGE DE LA LUZ**

• REDUCE LOS EFECTOS FOTOTÓXICOS  
• PREVIENE LA DEGENERACIÓN MACULAR

**AURA**

con alantoina y ácido hialurónico

La única solución de mantenimiento de lentes de contacto **certificada** para tratar las lentes de filtro óptico **amarillo**.

Lente de contacto con filtro óptico **amarillo** que **reduce los efectos de la luz perjudicial** y previene la degeneración macular

Fabricadas a partir del material más vendido en el mundo, ahora mejorado.

Con un filtro óptico amarillo de absorción de luz de onda corta, que protege de la luz tóxica. La réplica artificial de absorción de luz de onda corta, la protección natural del cristalino.

Visión perfecta y protección real.

**AURA**

Única solución de mantenimiento del mercado certificada CSR para su uso con las lentes de contacto amarillas, con filtro protector CSR.

Es compatible con todo tipo de lentes de contacto blandas, inclusive para lentes de Hidrogel Silicona.

Contiene Hialuronato Sódico, un componente biológico, natural, lubricante, humectante y reconfortante, presente además en el cuerpo humano.

Contiene Alantoina, un componente natural conocido por sus propiedades anti-irritantes. Proporciona un confort duradero en el uso continuado de las lentes de contacto.

Pedidos de solución única AURA:

**AURA**

T. +34 91 666 45 15  
E. [avizor@avizor.es](mailto:avizor@avizor.es)  
[www.avizor.es](http://www.avizor.es)

Pedidos de Lentes Lens55 UV CSR:

teléfono: 902 238 777  
email: [pedidos@senlens.com](mailto:pedidos@senlens.com)  
[www.senlens.com](http://www.senlens.com)

## La luz, indispensable para la visión, puede dañar nuestros ojos

La luz blanca que nos rodea está compuesta por todas las bandas del espectro visible. Cada una de estas bandas posee una energía diferente que según aumenta también incrementa su efecto fototóxico sobre las estructuras oculares.

Las bandas más energéticas y más dañinas de la luz son las longitudes de onda corta (violeta y azul) que constituyen el 23% de la luz blanca.



Comparativa de filtros en los lentes

Material	Properties	Refractive Index	Water content	Oxygen Permeability
Filcon IV 1	84.2%UVA- 97.6% UVB -> 5% Blue light	1.3974 (wet)	55%	19.5DK

Diameter (mm)	Base Curve (mm)	Center Thickness (mm)	Power(D)	Color
14.20	8.60; 8.90	0.08-0.10	Lens 55 CSR +20.00 to -20.00 Lens 55 Toric CSR Cyl -5.25 axis 5°	yellow Tinted



23%  
de la luz que nos rodea  
puede ser dañina para  
nuestros ojos

El filtro óptico amarillo absorbe la luz azul y violeta

## La tecnología actual emite hasta 5 veces más luz tóxica azul y violeta

¿Has pensado alguna vez en cuánto tiempo pasas al día frente al ordenador, utilizando el smartphone, leyendo en la tablet y viendo televisión?



No podemos, ni debemos, evitar utilizar las nuevas tecnologías de la información, pero tenemos que proteger nuestros ojos de sus efectos dañinos ya que éstos son acumulativos con la luz natural y artificial que nos rodean.

Las pantallas de los nuevos móviles, tablets, ordenadores y televisores están iluminados con LEDs. Algunas pantallas LEDs emiten más luz dañina violeta y azul.

## Nuestro Sistema Visual se defiende de las agresiones de la luz azul y violeta

- 1 El amarilleamiento del cristalino por aumento de la concentración de cromóforos amarillos que absorben la luz violeta y azul.
- 2 El pigmento macular amarillo, compuesto principalmente por Luteína y Zeaxantina, recubre la mácula y protege de la luz violeta y azul.
- 3 Ausencia de fotorreceptores sensibles al azul en la zona más perfecta de la retina.



El amarilleamiento del cristalino con el paso del tiempo\*  
\*Lerman, 1980

Por este motivo debemos proteger nuestros ojos con las lentes CSR, que absorben la luz dañina que nos rodea.

La defensa natural del ojo ante la luz dañina es amarillar el cristalino para que éste absorba parte de esa luz. Podemos reforzar esta defensa natural replicándola en la lente de contacto: con un filtro óptico amarillo.





Annex B. Catàleg Mark'ennovy



- Hidrogel de Silicona
- Filtros de luz azul y UV clase I
- Rango completo de Ø, RB y AD



- Hidrogel de Silicona
- Excelente combinación de Dk y H<sub>2</sub>O
- Nuestra lente más popular



- Alto DK sin silicona
- Excelente retención de agua
- Módulo de elasticidad más bajo del mercado



- Diseñada para mimetizarse con la córnea
- Baja deshidratación y baja fricción superficial
- Fácil manipulación

% H <sub>2</sub> O	75	75	59
Pack	3 lentes	3 lentes	3 lentes
Dk	60	60	30
Filtro luz azul	Sí	-	-
Filtro UV clase I	Sí	-	Sí
Módulo (MPa)	0.25	0.29	0.36
CoF	0.09	0.09	0.05
Deshidratación	< 0.50%	1%	< 1%
Tinte de manip.	Sí	-	Sí
Ø (mm)	11.50 a 16.50 (0.50)	13.00 a 16.00 (0.50)	13.00 a 16.00 (0.50)
RB (mm)	6.50 a 9.80 (0.30)	6.80 a 9.80 (0.30)	7.10 a 9.80 (0.30)
ESF (D)	±30.00 (0.25)	±30.00 (0.25)	±30.00 (0.25)
CIL (D)	-0.75 a -8.00 (0.25)	-0.75 a -8.00 (0.25)	-0.75 a -8.00 (0.25)
EJE (°)	Todos (1°)	Todos (1°)	Todos (1°)
AD (D)	0.50 a 4.00 (0.25)	0.50 a 4.00 (0.50)	0.50 a 4.00 (0.50)
	CD - CN	CD - CN	CD - CN

% H <sub>2</sub> O	80	80
Pack	3 lentes	3 lentes
Dk	60	60
Filtro luz azul	-	-
Filtro UV	Sí	Sí
Módulo (MPa)	0.13	0.13
CoF	0.05	0.05
Deshidratación	< 0.50%	< 0.50%
Tinte de manip.	Sí	Sí
Ø (mm)	13.00 a 16.00 (0.50)	13.00 a 16.00 (0.50)
RB (mm)	7.10 a 9.80 (0.30)	7.10 a 9.80 (0.30)
ESF (D)	±30.00 (0.25)	±30.00 (0.25)
CIL (D)	-0.75 a -8.00 (0.25)	-0.75 a -8.00 (0.25)
EJE (°)	Todos (1°)	Todos (1°)
AD (D)	0.50 a 4.00 (0.50)	0.50 a 4.00 (0.50)
	CD - CN	CD - CN

CONTACTA CON TU DELEGADO COMERCIAL PARA CONOCER MÁS DETALLES

Customer Care: T. 902 111 130 | 91 649 61 21  
Customer Care: F. 902 111 150 | 91 639 00 18  
Customer care internacional: T. +34 91 649 61 21  
mksservices@mark'ennovy.com

Inspire your eyes  
**mark'ennovy**

**PRIMERA LENTE DE CONTACTO QUE  
PROTEGE DE LA LUZ CON CERTIFI-  
CACIÓN DE ORGANISMO**

**Lens 55**  
**UV CSR**

- Reduce los efectos fototóxicos.
- Previene degeneración macular asociada a la edad.

Lente de contacto con filtro óptico amarillo que reduce los efectos de la luz perjudicial y previene la degeneración macular asociada a la edad.

La luz, indispensable para la visión, puede dañar nuestros ojos.

La luz blanca que nos rodea está compuesta por todas las bandas del espectro visible. Cada una de estas bandas posee una energía diferente que según aumenta también incrementa su efecto fototóxico sobre las estructuras oculares.

Las bandas más energéticas y más dañinas de la luz son las longitudes de onda corta (violeta y azul) que constituyen el 23% de la luz blanca.



**THE FIRST CONTACT LENS OFFER-  
ING PROTECTION AGAINST HARM-  
FUL LIGHT WITH CERTIFICATION**

**Lens 55**  
**UV CSR**

- Reduces phototoxic effects
- Prevents from macular degeneration AMD

A contact lens with a yellow optical filter that reduces the effects of harmful light and prevents from macular degeneration.

Light, so essential for the visual process, can damage our eyes.

White light is composed of all wavelengths of the visible spectrum. Each of these waves has a different energy. The higher the energy, the higher the phototoxic effect on the ocular structures.

The most energetic and harmful waves are the short wavelengths (blue and violet), which make 23% of white light.





## **PRIMERA LENTE DE CONTACTO QUE PROTEGE DE LA LUZ CON CERTIFI- CACIÓN DE ORGANISMO**

---

### **CSR Lentes de contacto**

Nuestro sistema visual se defiende de las agresiones de la luz azul y violeta.

1- El amarilleamiento del cristalino por aumento de la concentración de cromóforos amarillos que absorben la luz violeta y azul.

2- El pigmento macular amarillo, compuesto principalmente por lutina y zeaxantina, recubre la mácula y la protege de la luz violeta y azul.

3- Ausencia de fotorreceptores sensibles al azul en la zona más perfecta de la retina.

## **THE FIRST CONTACT LENS OFFE- RING PROTECTION FROM HARM- FUL LIGHT WITH CERTIFICATION**

---

### **CSR Contact lenses**

Our visual system reacts to violet and blue light.

1- The crystalline becomes more and more yellow due to the gathering of yellow chromophores which absorb violet and blue light.

2- The yellow macular pigment, mainly composed of lutein and zeaxanthin, covers and protects the macula from violet and blue light.

3- No blue-sensitive photoreceptors in the most perfect area of the retina.

---

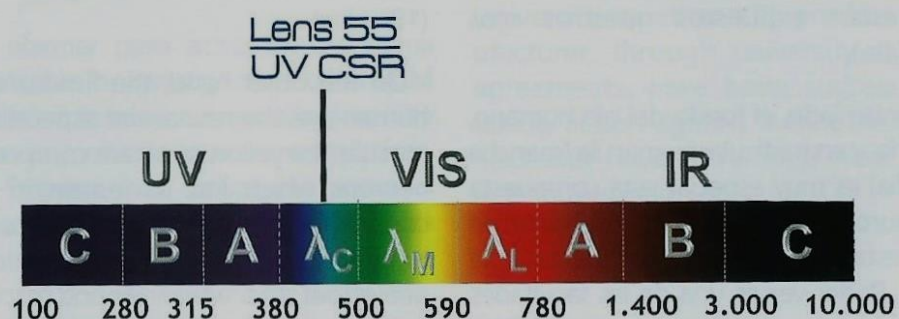
**Lens 55**  
**UV CSR**

---

**Lens 55**  
**UV CSR**



El amarilleamiento del cristalino con el paso del tiempo\*  
 \*Lerman. 1980



..... 23%

**Nota:**

El filtro óptico amarillo absorbe la luz azul y violeta de la luz que nos rodea puede ser dañina para nuestros ojos.

**Note:**

The yellow optical filter absorbs blue and violet light from the light around us can be harmful to our eyes.



## LENTES 55 UV CSR

---

La luz aparentemente blanca está compuesta por bandas que las personas percibimos como colores. Algunas de estas bandas tienen excesiva energía para el elevado número de horas al que están expuestos nuestros ojos (18h/día).

Por otro lado, el fondo del ojo humano, la retina, y en particular su mácula (mancha amarilla) es muy especial, está compuesta de neuronas que deben conservarse en buen estado toda la vida para mantener la visión. Poder ver es una de las facultades que más información nos aporta (85%). Chequear, preservar y optimizar la visión es el trabajo de los ópticos, de los optometristas, de los expertos en visión y de los médicos oftalmólogos.

Desde la Universidad Complutense (UCM) se han desarrollado en los últimos 15 años investigaciones científicas al más alto nivel internacional con la colaboración de instituciones públicas y privadas, nacionales e internacionales. Con ellos se ha conseguido demostrar que eliminando por bloqueo (absorción) la banda de luz que el ojo percibe como violeta, muy cerca del ultravioleta, se reducen los daños que la luz puede producir en las neuronas del fondo del ojo.

## LENS 55 UV CSR

---

The apparently white light is composed of waves which are perceived as color. Some of these waves have too much energy. Then our eyes are exposed to excessive amount of radiation daily (18h/day).

On the other hand, the fundus of the human eye, the retina, and especially, the macula (the yellow spot) are composed of neurons which has to remain in good condition throughout life to maintain good vision. Most of the information we get about the world around us come from what we see (85%). One of the main tasks of opticians, optometrists, orphthalmologists and eye care professionals is to optimize vision.

The Complutense University of Madrid (UCM, Spain) along with public and private national and international institutions, has been carried out scientific research at the highest international level for 15 years. As a result, it has been proved that a violet-light absorbing filter can reduce the damage that harmful light might cause in the neurons in the fundus of the eye.




Estas investigaciones, en colaboración con fabricantes de lentes de contacto y sus soluciones de mantenimiento, de lentes oftálmicas y de films protectores, han permitido desarrollar en España elementos ópticos de protección que disminuyen la incidencia de luz tóxica sobre los ojos.

Sin alarmar pero actuando de forma responsable los investigadores de la UCM y los fabricantes y comercializadores de productos, mediante acuerdos entre Universidad-Empresa, han conseguido poner al alcance de la sociedad productos para consumo nacional y de exportación, que colaboran con el fin último de la Universidad Complutense, en esta área: realizar acciones contra la ceguera evitable.

This research, in collaboration with manufacturers of contact lenses, ophthalmic lenses, and maintenance solutions, as well as with producers of protective films, has allowed the manufacturers in Spain to create a new product which provides protection against the possible effects of harmful light. Researchers at the UCM University together with product manufacturer, through university-industry agreements, have been successful in taking action against avoidable blindness and have developed new products in this field.



Lentes 55 UV CSR		Nombre Name	Indicaciones / Indications	Blister Gratis	Curva Base / Base Curve Dia.	Potencias Powers	% H2O	Espesor Thickness (-3.00Dp)	DK Fatt ISO 9913-1 x10-11 (cm2/sec) [ml O2 / (ml x mm Hg)]	Material USAN
Lens 55® C.S.R. UV Filcon IV 1 Mensual-Monthly			84.2% UVA 97.6% UVB 5% Blue light  Previene la Degeneración Macular  It prevents from macular degeneration	Si por web 15%	8.60/8.90  14.20	+20.00 ~ -20.00 8.60 +8.00 ~ -12.00 Pasos/steps 0.25 +5.00 ~ -6.00	55%	0.08	19 Methafilcon A	
Lens 55® C.S.R. Toric UV Filcon IV 1 Mensual-Monthly			84.2% UVA 97.6% UVB 5% Blue light  Previene la Degeneración Macular  It prevents from macular degeneration	Si por web 15%	8.70  14.50 Toro interno Back toric	+20.00 ~ -20.00 Pasos/steps 0.25 +5.00 ~ +0.50 -0.50 ~ -5.00 Cyl: -0.75 ~ 5.25 Pasos/steps 0.50 Ejes/Axes: 0-180° pasos 10°(steps)	55%	0.11	19 Methafilcon A	

 Lens 55® C.S.R. Primera y Única lente certificada por Organismo Certificador Europeo. Ver certificado completo en [http://www.servilens.com/Marcado\\_CE.pdf](http://www.servilens.com/Marcado_CE.pdf)


Visible-light-filtering corrective contact  
lens  
preventing AMD (Age-related Macular  
Degeneration)

Lens 55 C.S.R.  
Lens 55 C.S.R – Toric

**Lens 55**  
**UV CSR**





Lentes mensuales									
Tiempo entrega Delivery time	Módulo elasticidad Modulus Mpa	Fabricación Manufacturing	Tinte Manipulación Handly Tint	Adaptación Fitting	Presentación/ Packing	ServiBonos	Precio Venta Público	Códigos Codes Abono	Limpeza Cleaning
24 horas 48 horas	0.3	cast moulding	Si Yes Tinte amarillo yellow tint	8.60 7.10<Km < 7.90 47.55~42.75 8.90 7.80<Km 43.25<	Pack 6 lentes lenses	No	54.00€	CSR++ 89- 923.50 Abono No	Solución Única Lens 55 Care
					Pack 3 lentes lenses	No	54.00€	CSRX++ 923.50 Abono No	Solución Única Lens 55 Care
24 horas 48 horas	0.3	cast moulding Toro interno Back toric	Si Yes Tinte amarillo yellow tint	Km 7.40 ~ 8.00 Km 45.60 ~ 42.25 	Pack 6 lentes lenses	No	108.00€	947.00 Abono No	Solución Única Lens 55 Care
<i>i</i> Lens 55® C.S.R. Ver instrucciones de uso pag. 36 y en los packs de lentes de contacto.									

Ref: pag 31

6 meses

15 años

30 años

45 años

60 años

70 años

80 años

El amarilleamiento del cristalino con el paso del tiempo\* Lerman. 1980